

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Distribución actual y potencial de las poblaciones del género *Latrodectus* (Araneae:
Theridiidae) en Ecuador

Disertación previa a la obtención del título de Licenciado en
Ciencias Biológicas

Roberto Jacobo Kaslin Ulloa

Quito, 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas del candidato Roberto Jacobo Kaslin Ulloa ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Álvaro Barragán, M.Sc.

Director de la Disertación

Quito, 2013

A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Entomología de la Universidad Católica, por el apoyo y facilidades brindadas, especialmente Álvaro Barragán, director de esta disertación por el apoyo incondicional, orientación y buenos consejos que llevaron a la culminación de este trabajo, a Mauricio Vega por compartir sus conocimientos y su ayuda en la fase de campo. A Pablo Menéndez por sus útiles consejos, tiempo e información brindada que fueron vitales para el trabajo.

Al laboratorio de Biología Molecular QCAZ en especial a Santiago Ron y Omar Torres por permitirme trabajar en el laboratorio, agradezco también a Diana Pazmiño por la ayuda incondicional y paciencia en el trabajo de laboratorio.

A la Pontificia Universidad Católica que proporcione los materiales para la fase de campo y laboratorio además del apoyo financiero para la realización del trabajo.

A mi familia por su constante apoyo y preocupación. A mi padre del cual he aprendido mucho, por sus consejos y apoyo incondicional, de igual manera a mi madre y hermana que siempre están motivándome a seguir adelante.

Agradezco a Andrea Varela, Francisco Ramírez, Daniel Escobar y Daniel Rivadeneira por su valiosa amistad, y ayuda en la realización del trabajo. Agradezco también a todos mis amigos y amigas que me han acompañado durante toda la carrera de estudios brindándome su ayuda y motivación.

TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	5
3.1 ANTECEDENTES	6
3.2 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES: BARCODING Y FILOGENIA	7
3.3 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN.....	8
3.4 FACTORES LIMITANTES DEL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN.....	9
3.5 MAXENT (Sistema de Modelamiento de Máxima Entropía)	7
3.6 EVALUACION DEL MODELO MAXENT	11
3.7 MODELAMIENTO DE NICHOS A FUTURO	12
3.7.1 ESCENARIOS CLIMÁTICOS	13
3.8 OBJETIVOS	15
3.8.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DE MUSEOS.....	16
4.2 ELABORACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN – MAXENT.....	16
4.3 PRIMER MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO	18
4.4 SEGUNDO MODELAMIENTO DE NICHOS Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO.....	18
4.5 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES RECOLECTADAS.....	19
4.6 MODELAMIENTO DE NICHOS PRESENTE Y FUTURO.....	20
5. RESULTADOS.....	22
5.1 PRIMER MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO	22

5.2 SEGUNDO MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO.....	22
5.3 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES.....	22
5.4 MODELAMIENTO PRESENTE Y FUTURO.....	23
5.4.1 ESCENARIOS <i>Latrodectus geometricus</i>	24
5.4.2 ESCENARIOS <i>Latrodectus sp.</i>	25
5.5 POBLACIONES DE <i>Latrodectus</i> EN ECUADOR Y DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT.....	25
5.6 MAPA DE CENTROS DE SALUD Y HOSPITALES CERCANOS A POBLACIONES DE <i>Latrodectus sp.</i>	26
6. DISCUSIÓN.....	27
6.1 EVALUACIÓN DEL MODELO MAXENT.....	27
6.2 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES.....	28
6.3 PREDICCIONES DEL MODELO MAXENT.....	29
6.4 PREDICCIÓN A FUTURO	32
7. CONCLUSIONES.....	34
8. LITERATURA CITADA.....	35
9. FIGURAS.....	45
10. TABLAS.....	59
11. ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

1. Mapas obtenidos del primer modelamiento de la especie <i>L. geometricus</i> , <i>L. grupo mactans</i>	45
2. Mapas obtenidos del segundo modelamiento de la especie <i>L. geometricus</i> , <i>L. grupo mactans</i>	46
3. Caracteres para la identificación de <i>L. geometricus</i>	47
4. Filograma resultante del análisis de Máxima Verosimilitud del fragmento del gen COI en el género <i>Latrodectus</i>	48
5. Fotos <i>Latrodectus thoracicus</i> Ecuador.....	49
6. Mapas finales de la distribución de las especies <i>L. geometricus</i> y <i>Latrodectus sp.</i>	50
7. Resultado de la prueba Jackknife, prueba de importancia de las variables ambientales	51
8. <i>L. geometricus</i> , mapa de distribución actual, modelamiento 2050 escenario A2 y escenario B2.....	52
9. <i>Latrodectus sp.</i> , mapa de distribución actual, modelamiento 2050 escenario A2 y escenario B2	53
10. Fotos del hábitat de las dos especies del género <i>Latrodectus</i> y su cercanía a zonas pobladas.....	54
11. Fotos de los lugares característicos donde las arañas construyen sus nidos.....	56
12. Mapa de la ubicación de las poblaciones de <i>Latrodectus sp.</i> y de los centros de salud y hospitales más cercanos	58

LISTA DE TABLAS

1. Localidades obtenidas de la revisión bibliográfica y de museos	59
2. Localidades obtenidas en el primer muestreo	59
3. Localidades obtenidas en el segundo muestreo	60
4. Secuencias disponibles en Genbank del gen COI de todas las especies del género <i>Latrodectus</i> y tres secuencias de especímenes del género <i>Steatoda</i>	60
5. Modelo de evolución seleccionado con el programa JModelTest para los análisis filogenéticos	61
6. Localidades <i>L. thoracicus</i> en Chile	62
7. Porcentaje de contribución de las variables al modelo Maxent, para las dos especies de arañas.....	62

ANEXOS

1. Gráfico de caracteres de identificación del género <i>Latrodectus</i>	63
2. Lista de centros de salud y hospitales de la figura 11	63
3. Modelamiento final de la especie <i>Latrodectus sp.</i> , se muestran los puntos de presencia agregados de Chile.....	65
4. Capas bioclimáticas utilizadas en los modelos	66

1. RESUMEN

El género *Latrodectus* en el Ecuador ha sido poco estudiado en cuanto a las especies existentes y su distribución. Existen especies del género con mordidas de importancia médica, por lo que se pretende determinar que especies del género se encuentran en el país y su distribución.

La identificación de las especies fue realizada utilizando caracteres morfológicos y análisis genéticos de las secuencias, extraídas de los especímenes recolectados, del gen mitocondrial citocromo oxidasa I (COI). La distribución de las especies del género *Latrodectus* fueron realizadas utilizando sistemas de información geográfica y modelamiento de nicho ecológico con el programa MAXENT que genera un modelo de distribución de las especies a partir de variables ambientales y datos de presencia para predecir la distribución potencial de las especies bajo condiciones ambientales actuales y futuras.

Se identificó morfológicamente a la especie *Latrodectus geometricus*. Se utilizó la herramienta molecular barcoding y análisis filogenéticos para la identificación de segunda especie de *Latrodectus*, según los análisis realizados esta sería una especie no descrita del género *Latrodectus* presente en el Ecuador.

Se registraron siete nuevas localidades para la especie *L. geometricus* y ocho para la especie *Latrodectus sp.* utilizando los mapas generados por el programa MAXENT como guías para determinar las localidades a ser muestreadas. Los mapas de distribución proyectados al año 2050 mostraron aumento en el área de presencia de las especies junto con cambios latitudinales de los rangos de distribución.

Se recomienda un análisis genético más profundo y la descripción de la especie *Latrodectus sp.* Debido a la importancia médica que tiene la mordida de esta especie se

realizó un mapa de riesgo que muestra, los centros de salud cercanos a estas poblaciones y las zonas de mayor probabilidad de presencia de poblaciones de la especie, en donde se recomendaría obtener el antídoto para tratar casos de latrodectismo.

Palabras clave: Distribución Ecuador, *Latrodectus*, MAXENT, modelos de nicho.

2. ABSTRACT

In Ecuador the genus *Latrodectus* has been poorly studied in terms of existing species and their distribution. There are species of the genus with medically significant bites, so in this study the aim was to determine which species of the genus are found in the country and its distribution.

Species identification was done by using morphological, and genetic analyzes of the mitochondrial gene cytochrome oxidase I (COI) of the sequences extracted from the specimens collected. Were performed the distribution of the genus *Latrodectus* using GIS and ecological niche modeling with MAXENT, a program that generates a model of distribution of species from environmental variables and occurrence data to predict the potential distribution of the species under current and future environmental conditions.

The specie *Latrodectus geometricus* was identified morphologically. Molecular tool barcoding and phylogenetic analysis was used for the identification of the second species of *Latrodectus*, according to the analysis this would be an undescribed species of the genus *Latrodectus* present in Ecuador.

Seven new localities for the species *L. geometricus* and eight for the species *Latrodectus sp.* were found using the maps generated by the program MAXENT as guides for localities to be sampled. The distribution maps projected to 2050 showed increase in the area of occurrence of the species along with changes in latitudinal distribution ranges.

We recommend a deeper genetic analysis and description of the species *Latrodectus sp.* Given *Latrodectus sp.* medical importance was generated a risk map showing, health centers near confirmed species populations and areas of increased likelihood of

populations of the species, where we recommend acquiring the antidote to treat cases of latrodectism.

KEY WORDS: Distribution, Ecuador, *Latrodectus*, Maxent, niche models.

3. INTRODUCCIÓN

En el mundo existen 31 especies formalmente descritas del género *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) (Platnick, 2012). Estas arañas son comúnmente conocidas como viudas y pueden ser reconocidas por su marca abdominal roja en forma de reloj de arena (Garb *et al.*, 2004).

Las especies del género *Latrodectus* son predadores generalistas que se alimentan desde insectos, crustáceos, otros arácnidos y hasta de pequeños vertebrados. Esta amplia dieta explica la presencia en su veneno de una potente neurotoxina la α -latrotoxina, la cual al ser inyectada en vertebrados desencadena la liberación masiva de neurotransmisores lo que paraliza el sistema nervioso central y produce dolores musculares intensos (Clark, 2001; Navarrete *et al.*, 2011). A estos síntomas se los conoce como latrodectismo, por lo que las especies del género *Latrodectus* están entre las pocas especies de arañas que causan mordidas de importancia médica (Garb *et al.*, 2004; Kaston 1970).

Varias especies del género *Latrodectus* son sinantrópicas (Garb *et al.*, 2004) y comúnmente se encuentran en áreas urbanas y en sus alrededores (Smithers 1944; Muller 1993) así como también en áreas cultivadas (Muller 1993; Costello *et al.*, 1998). A pesar de que el género tiene una distribución mundial, el transporte humano ha ampliado el rango de distribución de algunas especies como consecuencia de su afinidad por los hábitats disturbados. Ciertas especies del género están siendo detectadas en nuevas y distantes localidades con más frecuencia (Garb *et al.*, 2004).

Latrodectus mactans Fabricius es una especie nativa de norte América (Platnick, 2010; Garb *et al.*, 2004), pero ha sido introducida alrededor de todo el mundo (Garb *et al.*, 2004). Existen varios registros de *L. mactans* en América del sur (Keegan 1955; Levi, 1967) incluyendo Argentina (Pinter, 1967), Brasil (Levi y McCrone, 1964), Perú

(McCrone y Levy, 1964) y Chile (Aguilera *et al.*, 2009). Sin embargo, algunos de estos registros han sido descritos como diferentes especies (Levi y Mccrone 1964; Garb *et al.*, 2004, Aguilera *et al.*, 2009).

3.1 ANTECEDENTES

El género *Latrodectus* tienen una distribución mundial en varios continentes e islas oceánicas (Garb *et al.*, 2004; Shukla y Broome, 2007). La única especie de *Latrodectus* que ha sido reportada para el Ecuador es la cosmopolita *L. geometricus* Koch (Vega, 2010). Esta especie fue originalmente descrita por C.L. Koch en 1841 basado en un espécimen colectado en Colombia (Vincent *et al.*, 2008).

En junio del 2010 en el pueblo Chan Chico de la provincia de Cotopaxi, se dio un caso de latrodectismo en una niña de ocho años. La niña y la araña que causó la mordida fueron llevados al Hospital de Niños Baca Ortiz en Quito. El cefalotórax de una araña hembra (QCAZ 75025) fue llevado al Museo de invertebrados QCAZ por la Doctora María Isabel Villegas para que sea identificado. El espécimen fue identificado como una araña del género *Latrodectus*, pero no se pudo identificar la especie ya que faltaba el abdomen.

Según la información proporcionada por la Dra. Villegas, la araña había mordido a la paciente dos veces cerca de la muñeca en el brazo derecho, el área alrededor de la herida se hinchó y se tornó roja. La paciente sufría de dolor agudo en el área de las mordidas, dolor en el brazo derecho y pecho, parestesia en las piernas, dolores de cabeza, dificultades para respirar, fiebre, y náuseas ocasionales.

Estos síntomas son consistentes con otros casos de mordidas de *Latrodectus* reportados en la literatura (Baerg 1923; Burt 1935; D'Amour *et al.*, 1936; Romero *et al.*, 2003; Garb *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2009; Maillaud *et al.*, 2009).

3.2 IDENTIFICACIÓN ESPECIES: BARCODING Y FILOGENIA

El Barcoding de ADN es el uso de regiones de genes cortas y estandarizadas para la identificación y el descubrimiento de especies (Herbert *et al.*, 2003). Diversos estudios han indicado que la divergencia de secuencias en una región estándar del gen mitocondrial citocromo oxidasa I (COI) es efectivo para la identificación de especies para grupos en los que la identificación puede ser difícil (Rowan *et al.*, 2005). La utilidad del barcoding de ADN es inmensa, para distinguir especies con morfologías similares, un problema común en arañas, debido a su estasis morfológica evolutiva (Robinson *et al.*, 2009).

Se utiliza el gen COI ya que está presente en todos los animales, y las comparaciones de secuencias son sencillas porque las inserciones y deleciones son raras, y además este gen posee suficiente divergencia de secuencias como para permitir la diferenciación entre especies cercanamente relacionadas (Herbert *et al.*, 2003). El estudio de Barret y colaboradores 2005 provee evidencia de que el sistema de identificación basado en el gen COI es efectivo para identificar especies de arañas y puede ser aplicable a otros arácnidos.

En *Latrodectus* por presentar alto nivel de variación morfológica intraespecífica y problemas alfa-taxonómicos, es apropiado el uso de los caracteres genéticos para identificar especies y sus relaciones filogenéticas (Garb *et al.*, 2004). Los caracteres

moleculares son útiles para aclarar las relaciones filogenéticas entre arañas cuando caracteres morfológicos homólogos son difíciles de identificar, como el caso de una adopción independiente de las funciones ecológicas similares que conduce a la convergencia morfológica (Gillespie *et al.*, 1997), o cuando los organismos parecen similares como consecuencia de la estasis morfológica. (Bond *et al.*, 2001).

La facilidad con la que se puede obtener secuencias mitocondriales, junto con un buen entendimiento de los procesos que gobiernan su evolución, se pueden utilizar como un punto de partida para investigar las relaciones filogenéticas las especies del género *Latrodectus* (Garb *et al.*, 2004).

Para establecer las relaciones filogenéticas de las especies del género *Latrodectus* se utilizó el método de máxima verosimilitud. La máxima verosimilitud tiene la ventaja de utilizar un criterio estadístico, ya que consideran la probabilidad de que un árbol haya dado lugar a los datos observados (secuencias) dado un modelo evolutivo específico (Steel, 2010).

3.3 MODELOS DE DISTRIBUCIÓN

Los modelos predictivos de nichos ecológicos son usados para predecir los rangos geográficos de los organismos en función del ambiente. Una de las aplicaciones más comunes de estos modelos es predecir el establecimiento o dispersión de especies invasivas después de ser introducidas a nuevas regiones por el humano (Jeschke *et al.*, 2008).

Los rangos geográficos actuales del género *Latrodectus* en Ecuador son poco conocidos debido a que se tenía muy poca información sobre la existencia de las especies

de este género. Para esto los modelos bioclimáticos basados en información incompleta de la distribución de las especies son muy útiles para inferir el rango total de distribución (Walther *et al.*, 2004).

Los modelos desarrollados usando este método con tamaños de muestras pequeños, como es el caso de este estudio en el que se contaba con pocas localidades de presencia de estas especies, tiene que ser interpretado como la identificación de regiones con condiciones ambientales similares a las condiciones de donde se conoce que las especies existen, y no como una predicción de los límites actuales del rango de distribución de las especies (Pearson *et al.*, 2007).

Las predicciones geográficas desarrolladas a partir de pocos registros de ocurrencia son de mucha utilidad en estudios de campo para el descubrimiento de áreas de distribución de poblaciones y especies desconocidas (Bourg *et al.*, 2005), además de otras aplicaciones como proyecciones de potenciales impactos de cambios climáticos (Thuiller *et al.*, 2005), probar hipótesis evolutivas, predecir invasiones de especies y dar soporte a planes de conservación (Peterson, 2003).

Las técnicas usadas para caracterizar las distribuciones geográficas de las especies relacionando, la ocurrencia observada y las localidades con los datos ambientales se está aplicando ampliamente en los análisis biogeográficos (Pearson *et al.*, 2007).

3.4 FACTORES LIMITANTES DEL ÁREA DE DISTRIBUCIÓN

Para poder describir el área de distribución de una especie, se deben tener conocimientos sobre los factores que la limitan, ya que el área de distribución específica es una entidad compleja, no homogénea, y sobre todo dinámica. Las modificaciones que se pueden dar en el área de distribución de una especie pueden ser ampliaciones, reducciones,

desplazamiento, fragmentación y varios más, antes de desaparecer con la extinción de la especie (Zunino y Zullini, 2003).

En el caso del género *Latrodectus*, los factores limitantes en la distribución son principalmente ambientales (precipitación y temperatura) y el tipo de hábitat (Vink *et al.*, 2010); la interacción con otras especies no es un limitante en el caso de este género debido a que no compiten con otras especies, son predadores generalistas, no están limitados por su tamaño ya que en su tela pueden capturar presas grandes y almacenarlas. Son venenosas lo que les permite a cazar a otros predadores (Hódar *et al.*, 2002), y tienen un bajo nivel de predación y parasitismo de los sacos de huevos (Vetter *et al.*, 2012).

3.5 MAXENT (Sistema de Modelamiento de Máxima Entropía)

MAXENT utiliza una ley mecánica estadística llamada máxima entropía para hacer predicciones a partir de información incompleta (Hernández *et al.*, 2008, Phillips *et al.*, 2006) y calcula la distribución potencial de las especies, mediante la probabilidad de máxima entropía, que es una medida de la cantidad de opciones que existe en la selección de un evento, esto quiere decir lo más cercano a lo uniforme (Phillips *et al.*, 2006; Ward, 2007).

Este software usa datos solo de presencia, las celdas del área de estudio son la probabilidad de distribución, las celdas con los datos de presencia son los puntos de muestreo, y las variables que se usan para elaborar los modelos son las variables ambientales o de cualquier tipo. Además de predecir la distribución potencial de una especie a partir de su distribución real, este software permite identificar a las variables ambientales que influyen más en la distribución de dicha especie.

El resultado de este tipo de modelos son mapas continuos con valores de probabilidad de distribución que van de 0 al 100% (Phillips *et al.*, 2006). Las predicciones de MAXENT son valores acumulativos, representando como porcentaje, el valor probabilístico del pixel analizado y de todos los otros pixeles con igual o menor valor de probabilidad (Hernandez *et al.*, 2008).

3.6 EVALUACIÓN DEL MODELO MAXENT

Cuando se realiza modelamientos de especies que habitan regiones poco estudiadas, se toma como propósito generar mapas de la distribución potencial de éstas. Estudios previos demuestran que la mecánica estadística de MAXENT se desempeña muy bien (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006) sin importar el número de localidades o la extensión de la presencia de las especies (Hernandez *et al.*, 2008). Una ventaja que tienen los modelos MAXENT es que son hechos solo con datos de presencia (Phillips *et al.*, 2006).

Para una medida legítima del éxito predictivo se hace uso de datos independientes que no son usados para desarrollar el modelo, a estos datos se los denomina de evaluación, mientras que los datos usados para construir el modelo se los denomina de calibración o entrenamiento (Fielding y Bell 1997; Pearson 2007). Idealmente, los datos de evaluación se deben coleccionar independientemente después de que el modelo ha sido desarrollado, pero en la práctica generalmente los datos disponibles se dividen en dos sets uno de evaluación y otro de calibración usando métodos de partición como bootstrapping, randomization, etc (Fielding y Bell 1997; Araujo *et al.*, 2005).

Sin embargo estos métodos no son apropiados cuando los datos son limitados como el caso de este estudio, debido a que al dividir el set de datos en dos cada set se vuelve muy

pequeño (Pearson *et al.*, 2007). Existen otros métodos para evaluar los modelos cuando se tienen pocos datos de presencia como el análisis estadístico basado en la prueba Jackknife descrito en Pearson *et al.*, 2007.

En el contexto de tamaños de muestra muy bajas (tan bajo como cinco registros), un valor MAXENT de probabilidad fija de 10, fue demostrado por Pearson *et al.*, 2007, que de manera significativa incluyó en el modelo todas las presencias conocidas. En el mismo contexto, un valor MAXENT inferior fue útil para revelar áreas de distribución no confirmadas pero potencialmente importantes.

Diferentes enfoques han sido empleados para determinar umbrales en los modelamientos (Liu *et al.*, 2005). Para el caso de este estudio que usa solo datos de presencia se optó por el valor más bajo de predicción asociado con cualquiera de los registros de presencia observados; esto se denomina el "umbral más bajo presencia" (LPT: lowest presence threshold). Este enfoque puede ser interpretado ecológicamente como el identificar los píxeles predichos que sean al menos tan adecuados como aquellos en los que se ha registrado la presencia de una especie; por lo que es un umbral conservador.

Esto se consigue con el umbral más bajo de presencia (Pearson *et al.*, 2007), el cual en el programa MAXENT es la opción del umbral “minimum training presence”.

3.7 MODELAMIENTO DE NICHOS A FUTURO

En el Cuarto Reporte del IPCC se establece que los incrementos de las temperaturas medias del aire y el océano, el derretimiento generalizado del hielo y la nieve, y la elevación del nivel del mar son evidencias inequívocas del calentamiento del sistema climático. En el reporte se estima que existe un 90% de confianza en que el calentamiento

global del siglo XX se debe al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicas. En conjunto, los GEI, medidos por su impacto de calentamiento equivalente en dióxido de carbono, en 2005 se registro una concentración aproximada de 430 ppm CO₂e (partes por millón en CO₂ equivalente), y aumentan 2 ppm por año, frente a un nivel preindustrial de 290 ppm CO₂e. (Bárcena *et al.*, 2011).

Este cambio en las condiciones climáticas, afecta directamente a la distribución de las especies. En el caso de las especies invasoras, consideradas un problema mundial que afecta la agricultura, la silvicultura, la pesca, la salud humana y los ecosistemas naturales (Ward, 2007). Determinar su distribución actual y potencial en el futuro es esencial para el desarrollo de prácticas de prevención y manejo de especies invasoras (Ward, 2007).

3.7.1 ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Existen escenarios del posible clima futuro, que son derivados de los escenarios de emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas. Un panorama del cambio del clima es una descripción coherente de un cambio futuro del clima bajo asunciones específicas sobre el crecimiento de emisiones de gases de invernadero y de otros agentes contaminantes y sobre otros factores que puedan influenciar en el clima futuro y dependerán de la opción del panorama de las emisiones. Un panorama en el cual la emisión de gases de invernadero es baja, debe conllevar a un cambio menos rápido del clima que uno en el cual las emisiones son altas. (IPCC, 2001).

Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico y está constituido de cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2.

En este estudio se utilizaron los escenarios A2 y B2. El primero describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

El segundo escenario describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y a la equidad social, se centra en las escalas: local y regional (IPCC, 2001).

En un escenario de emisiones inferior a la tendencia actual al año 2100 (escenario B2), la temperatura aumentaría de 2,2 °C a 2,7 °C con variaciones por país, con un promedio regional de 2,5 °C respecto al promedio de 1980-2000. En el escenario A2, que mantiene la tendencia actual de emisiones crecientes, la temperatura podría aumentar entre 3,6 °C y 4,7 °C con variaciones por país, con un promedio regional de 4,2 °C (Bárcena *et al.*, 2011).

3.8 OBJETIVOS

3.8.1 OBJETIVO GENERAL

Conocer el estatus taxonómico y la distribución actual y futura de arácnidos del género *Latrodectus* spp. en el Ecuador.

3.8.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar la distribución geográfica del nicho ambiental de las especies.
- Mediante recolecciones de campo confirmar la presencia de las especies de *Latrodectus* en las áreas modeladas.
- Identificar las especies del género *Latrodectus* en el Ecuador.
- Generar mapas de distribución actual y de áreas más susceptibles al posible establecimiento de las poblaciones de esta especie.
- Estimar el número de poblaciones presentes, sus preferencias de hábitat y cercanía a áreas pobladas.
- Elaborar un mapa de zonas de riesgo con los centros de salud y hospitales cercanos a las poblaciones de la especie *Latrodectus* sp.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DE MUSEOS

Se realizó una revisión bibliográfica y de colecciones de arácnidos del Museo de Invertebrados QCAZ y el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, y se obtuvo localidades de colecta y/o presencia de las especies del género *Latrodectus* en el país. Además se obtuvo información de museos internacionales como el Museo Americano de Historia Natural (EEUU), Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú), Universidad del Valle (Colombia) lo cual permitió añadir puntos de presencia en países vecinos para optimizar el modelo de distribución (Tabla 1).

4.2 ELABORACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN – MAXENT

Se georeferenciaron las localidades obtenidas en la revisión bibliográfica, museos y colecciones de campo utilizando el paquete informático ArcGIS 9.3 (ESRI®2008, Redlands, California, USA). Para el desarrollo del modelo, se usó el programa MAXENT versión 3.3.3k (Phillips *et al.*, 2006) que está disponible de forma libre en la red (www.cs.princeton.edu). Este programa deduce la probabilidad de la distribución óptima, de presencia de una o varias especies, basándose en el principio de Máxima Entropía a partir de variables ambientales.

Primeramente, se importó al programa MAXENT los datos de presencia de las dos especies del género *Latrodectus* en formato CSV (delimitado por comas). Luego, se utilizaron 17 variables bioclimáticas, que representan los parámetros ambientales que pueden limitar la capacidad de la especie para sobrevivir, disponibles en línea (Hijmans *et al.*, 2005; <http://www.worldclim.org>), para establecer el modelo de distribución (Tabla 2). Estas variables son el resultado de un promedio de datos, obtenidos de estaciones climáticas, en un período de 50 años (1950-2000) (Hijmans *et al.*, 2005).

Nueve de estas variables están relacionadas con la temperatura y ocho con la precipitación (Anexo 4), las 17 capas correspondientes a estas variables tienen una resolución de 30 segundos, aproximadamente 1 km² en el Ecuador (Hijmans *et al.*, 2005), estas fueron transformadas a formato ASCII utilizando el programa ArcMap 9.3 y fueron agregadas al programa MAXENT. La extensión del área sobre la que se realizó el modelamiento fue de 242.043 km².

En los casos en que los registros de localidad son pocos, y hay una confianza alta de que las identificaciones de especies son exactas y las localidades están georreferenciadas correctamente, es preciso asegurar que no hay predicciones de falsos negativos, es decir, asegurar una tasa de omisión cero, ya que el no predecir alguna de las localidades observadas es un claro error por lo que se utilizó el umbral de ausencia/presencia “*minimum training presence*” para todos los modelos, y se cambió el valor máximo de iteraciones de 500 a 1000.

Para saber si los modelos generados por MAXENT son confiables, se utilizó las curvas ROC (*receiver operating characteristics*, características operativas del receptor) que consiste de un gráfico donde en el eje y de coordenadas se sitúa la sensibilidad o fracción de verdaderos positivos, y en el eje x se sitúa la fracción de área predicha (Liger, 2010).

Gráficamente, cuanto más próxima es una curva ROC a la esquina superior izquierda, más alta es la exactitud global de la prueba. Las curvas ROC son independientes de los umbrales (Phillips *et al.*, 2006). El área bajo la curva ROC se denomina AUC, y es una medida global de la exactitud de la prueba y esta siempre es mayor o igual a 0,5 y el óptimo es 1 (Phillips *et al.*, 2006).

4.3 PRIMER MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO

Se construyó los mapas para cada especie con el programa Maxent usando las opciones preestablecidas por el programa, no se tomó muy en cuenta los análisis estadísticos que genera el programa debido a que, en este punto se contaba con pocas localidades de presencia (menos de 10) y se tenía información limitada sobre el hábitat y distribución de las especies en Ecuador, así que los mapas generados sirvieron como guías para determinar la posible distribución del género *Latrodectus* en el país. Utilizando los mapas obtenidos se realizó una salida de campo exploratoria y se muestreó las localidades más susceptibles a la presencia de las especies (Figura 1), el muestreo fue realizado de forma manual haciendo búsquedas en lugares donde se observaron las condiciones de hábitat óptimas descritas para estas especies que en general son zonas secas con poca vegetación.

4.4 SEGUNDO MODELAMIENTO DE NICHOS Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO

Los puntos de presencia obtenidos en el primer muestreo de campo se utilizaron para obtener nuevos mapas más refinados y precisos, utilizando el programa MAXENT de la misma manera que en el primer modelamiento, lo que permitió identificar las zonas prioritarias para realizar el segundo muestreo de campo en las nuevas localidades (Tabla 3) modeladas por el programa (Figura 2).

4.5 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES RECOLECTADAS

Se confirmó el género de los especímenes recolectados, utilizando los caracteres que definen al género *Latrodectus*: cefalotórax de forma normal, con el clipeo igual en altura que la zona ocular, y los ojos laterales bien separados, quelíceros sin dientes (Anexo

1). Patas largas, primer par de patas más largo que el cuarto par, garras superiores son dentadas casi hasta el ápice, poseen un abdomen largo globular, y colulus largo; los machos son mucho más pequeños que las hembras (Shukla *et al.*, 2007).

La especie *Latrodectus geometricus* fue identificada comparando su estructura genital con la descrita en Levy *et al.*, 1983 y Shukla y Broome, 2007 y con especímenes ya recolectados de esta especie que se encuentran en el museo QCAZ.

Para la identificación de la segunda especie recolectada, se utilizó la técnica de barcoding en la cual se amplifica el gen mitocondrial citocromo oxidasa I (COI). Una vez obtenida la secuencia, ésta se ingresa en la base de datos en línea BOLD (Ratnasingham *et al.*, 2007) donde los especímenes son identificados encontrando el registro más cercano de referencia coincidente en la base de datos.

Primero se realizó las extracciones de ADN de ocho especímenes recolectados en 4 localidades, removiendo dos patas del lado derecho de cada espécimen; se utilizó el protocolo de extracción de ADN de tiocianato de guanidina del Laboratorio de Biología Molecular QCAZ, en la primera parte del protocolo donde se realiza la lisis de células y desnaturalización de RNAsa, al tejido macerado se le añade proteinasa k y se deja incubar las muestras a 55°C solo durante cuatro horas que es el tiempo suficiente para que digieran las células y proteínas, el resto del protocolo no fue modificado. Una vez extraído el ADN se comprobó la cantidad y pureza obtenida de ADN utilizando un Nanodrop.

Luego se realizó dos PCRs (reacción en cadena de la polimerasa) para mediante visualización de bandas en geles de agarosa, decidir la combinación de primers que amplifica mejor el gen COI, y determinar la temperatura de annealing a la cual se obtiene mejores secuencias de ADN.

Las porciones de ADN se obtuvieron realizando PCR usando los cebadores dgHCO 2198 (reverse) y LCOI 1490 (forward), temperatura inicial de denaturación 95° C durante 90s, 40 ciclos de 30s a 94 °C, 40s a 47 °C y 45s a 72 °C, seguido de una extensión de 10 minutos a 72°C.

Finalmente el ADN amplificado fue secuenciado por Macrogen DNA Sequencing Service. Luego se editó y ensambló las secuencias utilizando el programa Geneious 5.4.6, se guardó las secuencias ensambladas en formato Fasta para poder ingresarlas en la base de datos de BOLD.

Para realizar los análisis filogenéticos del género *Latrodectus* se utilizaron 8 secuencias de arañas colectadas en este estudio y se obtuvieron 59 secuencias disponibles en Genbank (Benson *et al.*, 2005) del gen COI de todas las especies del género *Latrodectus* y tres secuencias de especímenes del género *Steatoda* (Tabla 4). Las secuencias de GenBank junto con las secuencias obtenidas de los especímenes recolectados se alinearon y editaron utilizando el programa Mesquite 2.75 (Maddison y Maddison, 2009).

El modelo de evolución fue seleccionado en JModelTest v.0.1.1. (Posada, 2008) (Tabla 5). Los árboles de máxima verosimilitud fueron estimados con el programa GARLI v.2.0 (Zwickl, 2006). Se realizó un bootstrap no paramétrico para evaluar el soporte de cada nodo con 100 réplicas (Felsenstein, 1985). El consenso de los árboles fue obtenido en Mesquite 2.75 (Maddison y Maddison, 2010), utilizando la regla mayoritaria del 50%.

4.6 MODELAMIENTO DE NICHOS PRESENTE Y FUTURO

Se utilizaron las localidades obtenidas de la bibliografía y de los muestreos de campo realizados, además se agregó localidades de presencia de la especie *L. thoracicus* en Chile (Tabla 6).

En el programa Maxent, se marcó las opciones, crear curvas de respuesta y la prueba estadística Jackknife para medir la importancia de las variables climáticas, se cambió el valor de “*máximo iterations*” (número máximo de iteraciones) de 500 a 1000 se escogió el umbral “*mínimo training presence*” y se procedió a correr el modelo.

Para los modelos a futuro se utilizó las mismas capas bioclimáticas proyectadas al año 2050 en dos escenarios (A2 y B2) y se corrió el modelo de la misma manera.

Los cálculos de las áreas modeladas actuales y a futuro que se utilizaron para determinar los porcentajes de aumento o disminución del rango de distribución de las especies fueron realizados utilizando ArcGIS 9.3 (ESRI®2008, Redlands, California, USA).

5. RESULTADOS

5.1 PRIMER MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO

Utilizando las localidades obtenidas de la revisión bibliográfica y de museos se generó los primeros mapas para las dos especies (Figura 1) de los cuales se eligió las zonas con mayor probabilidad de presencia para a ser muestreadas que fueron: Latacunga, Mitad del Mundo, Santa Elena, Jerusalem y Guayllabamba. La Tabla 2 muestra las localidades donde se registró la presencia de poblaciones de cada una de las especies; la única localidad donde no se registró poblaciones de ninguna especie fue Santa Elena.

5.2 SEGUNDO MODELAMIENTO Y RECOLECCIÓN EN EL CAMPO

La Figura 2 muestra el mapa que fue generado al agregar a la lista de puntos de presencia las localidades registradas en el primer muestreo, y que sirvió para determinar las zonas prioritarias para realizar el segundo muestreo de campo que se lo realizó en las provincias de Imbabura, Carchi, Azuay y Loja. En esta última no se logró registrar ninguna de las dos especies y en la provincias de Imbabura y Carchi solo se registró la presencia de *L. geometricus* a pesar de que el modelo generado para *L. grupo mactans* indicaba una alta probabilidad de presencia en estas dos provincias.

5.3 IDENTIFICACION DE ESPECIES

Latrodectus geometricus es una especie de la cual ya se conocía su existencia en el Ecuador y se contaba con especímenes depositados en el museo QCAZ, la identificación de esta especie se basó en comparaciones con los especímenes de museo y comparando su estructura genital con la descrita en Levy *et al.*, 1983 y Shukla *et al.*, 2007 (Figura 3).

Las secuencias de la segunda especie obtenidas en formato Fasta de los ocho especímenes secuenciados, fueron ingresadas en la base de datos BOLD donde no se

obtuvieron resultados, por lo que se utilizó la opción de buscar las secuencias en BLAST (Altschul *et al.*, 1997) en la base de datos de GenBank (Benson *et al.*, 2005) donde si se encontró secuencias coincidentes con las de este estudio.

Las ocho secuencias dieron un 94% de identidad con secuencias de COI en la base de datos de BLAST de la especie *Latrodectus thoracicus*, con un bit score de 933 y un E-value de 0.0 lo que significa que los resultados son altamente significativos. Según la información obtenida de la comparación de secuencias la especie presente en el Ecuador correspondería a la especie *L. thoracicus*.

La Figura 4 muestra el árbol resultante del análisis filogenético realizado, se puede distinguir los dos clados del género *Latrodectus*, el clado *geometricus* que contiene dos especies *L. geometricus* y *L. rhodesiensis*, y el clado *mactans*. en el que se incluyen el resto de las especies del género. En general el nivel de soporte de los clados es alto, mostrando un buen desempeño del gen. En algunos clados los valores no son significativos indicando un conflicto en la resolución de las relaciones filogenéticas, en este caso se observa una politomía en el clado *mactans*. Las secuencias de los especímenes recolectados en este estudio forman un clado separado, con un soporte significativo, del resto de las especies incluidas en la filogenia. Esto significa que la especie presente en el Ecuador (Figura 5) no corresponde a la especie *L. thoracicus*, sino que se trataría de una nueva especie no descrita para el género *Latrodectus*.

5.4 MODELAMIENTO PRESENTE Y FUTURO

La Figura 6 muestra los mapas finales generados por el programa MAXENT para las dos especies *Latrodectus sp.* y *L. geometricus*. Los valores AUC para las dos especies demostraron un buen ajuste de los modelos; 0.99 para *L. geometricus* y 0.98 para *Latrodectus sp.*

El análisis de la contribución de las variables ambientales (Tabla 7) muestra que para la especie *L. geometricus* la variable (4) estacionalidad de la temperatura es la que mejor explica la distribución con 88.8%, y la segunda variable que mejor contribuye al modelo es la (16) precipitación del trimestre más húmedo con un porcentaje de 8.5%.

Para la especie *Latrodectus sp.* la variable que mejor explica su distribución es la (8) temperatura media del trimestre más húmedo con un 49.4 % junto con las variables de precipitación 15, 18 y 19 (ver tabla 7) con porcentajes de 10.1%, 8,9% y 10,4% respectivamente.

El análisis del valor de la ganancia de la prueba Jackknife (Figura 7) coincide con los valores obtenidos en la contribución de las variables ambientales, siendo para la especie *L. geometricus* la variable ambiental (4) estacionalidad de la temperatura, la que aporta mayor ganancia al modelo y a su vez es la variable que mas disminuye la ganancia del modelo cuando es omitida, es decir es la variable más importante; y para la especie *Latrodectus sp.* la variable (8) es la que aporta mayor ganancia al modelo y la variable (3) isothermalidad es la que mas disminuye la ganancia del modelo cuando es omitida.

Las figuras 8 y 9 muestran los mapas actuales de *L. geometricus* y *Latrodectus sp.* respectivamente, junto con los mapas modelados para el año 2050 en los escenarios climáticos A2 y B2.

5.4.1 ESCENARIOS *Latrodectus geometricus*

En el escenario A2 se calculó un aumento del área de presencia de 0.49 % y en el escenario B2 un aumento de 7.70 % (Tabla 7). En ambos escenarios se puede observar un aumento considerable del área con probabilidad de 0,65 a 1 en las zonas donde se registró esta especie y en general al norte del Ecuador, y una reducción en la probabilidad de existencia de la especie en la parte sur del Ecuador que se ve más marcada en el escenario A2.

5.4.2 ESCENARIOS *Latrodectus sp.*

En el escenario A2 se calculo un aumento del área de presencia de 2.58 % y un aumento de 5.70 % en el escenario B2 (Tabla 7). En el escenario A2 se observa que hay una gran reducción de áreas potenciales de existencia de la especie en la zona sur del Ecuador, por lo que es probable que las tres poblaciones encontradas en el sur desaparezcan según este escenario. También se observa una reducción del hábitat actual y potencial de las poblaciones del norte, las zonas con mayor probabilidad se ven disminuidas pero aumentan las probabilidades hacia el oriente de la cordillera de los andes.

El escenario B2 muestra básicamente el mismo patrón que el escenario A2 con la diferencia que las áreas modeladas con altas probabilidades no disminuyen drásticamente sobre todo en el sur del Ecuador.

5.5 POBLACIONES DE *Latrodectus* EN ECUADOR Y DESCRIPCIÓN DEL HÁBITAT

Mediante las búsquedas en el campo utilizando como guía los mapas generados por el programa MAXENT se registraron ocho poblaciones de *Latrodectus sp.* y siete de *L. geometricus*.

Según las observaciones realizadas en los muestreos de campo el hábitat de las especies es el siguiente: zonas secas de terrenos irregulares y quebradas de suelo arenoso mayormente intervenidos por el hombre, vegetación herbácea y arbustiva esparcida (Figura 10). Los nidos de las arañas son terrestres se encuentran en grietas en el suelo o laderas. También se los encuentra asociados con pencos, hiervas y arbustos pequeños (Figura 11).

Según la clasificación de las formaciones vegetales en los Andes del Ecuador realizada por Baquero y colaboradores 2004, el hábitat que ocupan estas especies seria: matorral seco montano, matorral seco montano bajo y espinar seco montano.

5.6 MAPA DE CENTROS DE SALUD Y HOSPITALES CERCANOS A POBLACIONES DE *Latrodectus sp.*

Latrodectus sp. es una especie de importancia medica ya que su mordida (Romero *et al.*, 2003) produce una serie de síntomas conocidos como latrodectismo (Offerman *et al.*, 2011). Por lo que en la figura 11 se muestran los centros de salud y hospitales (fuente: Ministerio de salud Pública del Ecuador) (Anexo 2) que deberían contar con la información y medicamentos adecuados como el antídoto (ej. *Antivenin Latrodectus mactans*) para tratar casos de latrodectismo (Clark, 2001; Offerman *et al.*, 2011).

6. DISCUSIÓN

6.1 EVALUACIÓN DEL MODELO MAXENT

La distribución virtual de las dos especies del género *Latrodectus* realizada con el modelo MAXENT, fue hecha utilizando 17 variables ambientales (Tabla 5). De esta manera se está tomando en cuenta las condiciones ambientales de los lugares donde se conoce la presencia de las especies lo que deja de lado los factores no climáticos que también influyen en la distribución de las especies esto hace que los resultados sean en muchos casos difíciles de evaluar (Hijmans *et al.*, 2005).

El modelo MAXENT fue evaluado por el estimador llamado AUC (área bajo la curva), que indica la probabilidad de obtener verdaderos positivos y falsos negativos en los modelos (Phillips *et al.*, 2006). Los resultados de los modelos de Maxent para las dos especies fueron valores $> 0,5$ (0,99 en *L. geometricus* y 0,98 en *Latrodectus sp.*), según Segurado *et al.*, 2006 los valores aceptables son los mayores a 0,5 y el óptimo es 1, lo que hace confiable al modelo y de la mayor validez.

El análisis de contribución de las 17 variables ambientales utilizadas para realizar los modelos mostró que el factor temperatura para las dos especies es el factor que más influye en su distribución, la precipitación aunque en un menor porcentaje también determina la distribución de las dos especies. Estas especies presentan gran afinidad por ambientes disturbados y muy cercanos a áreas pobladas. En el estudio de Vink *et al.*, 2010 donde se realizó un experimentos con modelamientos de nicho utilizando el programa CLIMEX donde se provee evidencia de que el hecho de que la precipitación no esté afectando en mayor proporción a la distribución de las especies, se debe a que la gran

afinidad de estas especies por hábitats disturbados y cercanos a zonas pobladas hace que tengan lugares donde refugiarse en las épocas de alta precipitación, las cuales provocan inundaciones se destruyen los nidos de estas arañas.

La prueba Jackknife de importancia de las variables comprueba los resultados del análisis de contribución de las variables mostrando a la estacionalidad de la temperatura como factor más importante para *L. geometricus* y la temperatura media del cuarto más húmedo para *Latrodectus sp.*

6.2 IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES

El género *Latrodectus* está conformado por dos grupos, el grupo *geometricus* que contiene dos especies *L. geometricus* y *L. rhodesiensis* y el grupo *mactans* que contiene 29 especies (Garb *et al.*, 2004).

Latrodectus geometricus es una especie fácil de discriminar ya que su coloración es diferente por lo que es conocida como “viuda café”, así que no fue necesario recurrir más que a la observación y comparación para saber que se trataba de esta especie.

Por otro lado la segunda especie recolectada para este estudio no tenía colecciones ni registros previos para el Ecuador, a excepción de un registro que se encuentra en Levi 1959 de la especie *L. mactans* en la provincia de Santa Elena, de este registro no se pudo determinar si fueron recolectados especímenes y depositados en algún museo, por lo que era un registro dudoso.

El grupo *mactans* es un grupo muy diverso de especies, la mayoría son de color negro y tienen patrones de coloración rojos y a veces blancos, además varios estudios han comprobado que especies morfológicamente iguales, genéticamente son distintas, debido a

que los caracteres sexuales no evolucionan tan rápido como se creía (Bond *et al.*, 2001), por lo que fue necesario la utilización de la técnica molecular barcoding para la identificación de esta especie.

En la técnica de barcoding se utiliza el gen mitocondrial citocromo oxidasa I (COI), estudios recientes indican que la divergencia en las secuencias del gen COI pueden proveer una resolución a nivel de especie en varios grupos de animales y las comparaciones entre las secuencias son directas ya que las inserciones y deleciones son raras. Además el gen COI tiene la suficiente divergencia genética para permitir la diferenciación entre especies cercanamente relacionadas (Barret *et al.*, 2005).

Los resultados muestran que las secuencias obtenidas tienen un 94% de similitud con secuencias de COI de la especie *L. thoracicus*. En el trabajo de Garb *et al.*, 2004 se determino una distancia genética de 19.6% del gen COI dentro del género *Latrodectus*. Según estos resultados la especie presente en el Ecuador era posiblemente la especie chilena *L. thoracicus*.

El árbol obtenido muestra una topología y relaciones entre especies coincidentes con la filogenia realizada en el trabajo de Garb *et al.*, 2004 en el cual se utilizo el mismo gen para los análisis filogenéticos. La especie de *Latrodectus* del clado *mactans* que se encuentra en el Ecuador no corresponde a ninguna de las especies que se incluyeron en el análisis filogenético, dando como resultado un nuevo clado que corresponde a lo que podría ser una nueva especie no descrita presente en el Ecuador.

6.3 PREDICCIONES DEL MODELO MAXENT

Se utilizó localidades para cada especie y 17 variables bioclimáticas para hacer los modelos. Los modelos fueron calibrados usando características tanto lineal como

cuadrática y con niveles predeterminados de regularización. Por último, se seleccionó el formato de salida de logística, que produce valores continuos que van de 0 a 1 que indican la aptitud relativa ambiental para la especie, específicamente, la probabilidad de condiciones ambientales adecuadas, o la probabilidad de presencia de la especie si las limitaciones de dispersión y las restricciones de distribución debido a interacciones con factores bióticos no son relevantes (Anderson *et al.*, 2010).

En el contexto de invasiones biológicas, los modelamientos de nicho son propensos a predecir falsas presencias y falsas ausencias debido al no equilibrio en la naturaleza de la distribución del invasor. Las falsas presencias pueden predecirse cuando las variables ambientales que no se toman en cuenta para elaborar el modelo como, el tipo de suelo, el nivel de perturbación o las interacciones interespecíficas están limitando la naturalización de las especies en el rango invadido (Gallien *et al.*, 2010).

Las falsas ausencias ocurren si la distribución potencial de la especie no se ha realizado en su área de distribución natural debido a las limitaciones históricas atribuidas a las influencias humanas o debido a barreras físicas que impiden la ocupación del rango potencial completo (Gallien *et al.*, 2010).

En los resultados se puede observar que el programa es útil para predecir posibles lugares de presencia de las especies utilizando pocas localidades de presencia para el modelo de partida, esto se comprobó en las búsquedas en el campo donde se confirmó la presencia de las especies en algunas de las áreas modeladas por el programa. Si se compara los mapas obtenidos del modelamiento primero, segundo y el final, se observa que el modelo se va ajustando y mejorando conforme se aumentan las localidades de presencia al modelo, obtenidas en los muestreos de campo. Lo óptimo es realizar los modelos con

datos climáticos de donde son originarias las especies y proyectar los resultados para el Ecuador, en este caso al ser una especie no descrita su rango nativo de distribución estaría en el Ecuador. En el caso del modelamiento final de la especie *Latrodectus sp.* se agregó 10 localidades de Chile (Tabla 4) obtenidas de Aguilera *et al.*, 2009 de la especie *L. thoracicus* para agregar más puntos de presencia al modelo (Anexo 3).

En el caso de la especie *L. geometricus* a pesar de su rango de distribución amplio, Levi 1959 propuso la hipótesis de que el área de distribución natural de *L. geometricus* se encuentra dentro de África, sobre todo porque está muy extendida allí, sin embargo las poblaciones se distribuyen en intervalos disjuntos o, muy estrechos en otros lugares. En el tiempo de su descripción, ya se conocían registros de *L. geometricus* en América del Sur, así como en África. Por consiguiente, no está claro si es nativa de América del Sur o de África (Garb *et al.*, 2004). Por lo que para *L. geometricus* se utilizó los registros de Ecuador y algunos de Colombia como rango nativo.

El área de distribución de una especie es una expresión compleja de ecología e historia evolutiva determinado por diversos factores que operan a diferente intensidad y escala por lo que los modelos obtenidos se consideran como aproximaciones a la realidad (Soberón y Peterson, 2005). Sin embargo los modelos son una buena aproximación a la distribución real, según los resultados encontrados en el trabajo de campo donde se confirmó la presencia de las especies en las áreas con mayor probabilidad de ocurrencia, que en los mapas obtenidos están representadas por los colores verde oscuro y turquesa. El resultado de los modelos es una potencial predicción de distribución de las dos especies de arañas del género *Latrodectus*.

6.4 PREDICCIÓN A FUTURO

Para realizar las predicciones a futuro se utilizó las mismas 17 capas ambientales proyectadas hacia el año 2050 en dos escenarios. Los escenarios climáticos estiman cambios de temperatura y precipitación, usando escenarios y modelos climáticos recomendados por el IPCC.

El escenario A2 para *Latrodectus sp.* tiene un aumento del área posible de presencia de 2.85% y en el escenario B2 un aumento de 5.70%. A pesar de que el porcentaje de área de posible presencia de la especie aumenta, se observa una disminución de las áreas modeladas con alta probabilidad de presencia (>0.6) y un aumento del área en las zonas con bajas probabilidades de presencia (<0.5). En el mapa del escenario A2 se observa que las tres poblaciones encontradas en el sur del Ecuador podrían desaparecer debido al cambio climático en esa zona del país, a diferencia del escenario B2 en el cual no se reduce el área modelada en el sur del Ecuador, esto debido a que el escenario tiene tendencia hacia las altas emisiones con uso significativo y creciente de combustibles fósiles, y por el contrario en el escenario B2 se consideran emisiones reducidas y un desarrollo más sostenible (IPCC, 2001).

Para la especie *L. geometricus* el escenario A2 muestra ligero aumento en el área modelada de 0.49% a diferencia del escenario B2 que muestra un aumento de 7.70%. Para esta especie se observa que en los dos escenarios hay un aumento de la probabilidad de presencia en la zona norte del Ecuador y una disminución de las áreas con poca probabilidad de presencia en la zona sur del país.

Estos cambios en la temperatura, pueden afectar directamente a la conducta y fisiología de los insectos (Harington *et al.*, 2001; Merrill *et al.*, 2008; Estay *et al.*, 2009),

así como ciertos insectos que, a altas temperaturas tienen una tasa mayor de desarrollo y reproducción (Adamo y Lovett, 2011) o son tolerantes al aumento de la temperatura (Jaramillo *et al.*, 2009), por lo que el aumento de temperatura en los escenarios futuros puede aumentar o disminuir el rango de distribución dependiendo de las características ecológicas y fisiológicas de la especie. Además, un efecto potencial del cambio climático se da en la distribución y abundancia de animales a diferentes latitudes (Estay *et al.*, 2009). En el caso del género *Latrodectus* en el Ecuador se determinó en general un aumento en el área de distribución y cambios latitudinales de las probabilidades de presencia modeladas, mostrando aumento de probabilidades en el norte y disminución en el sur del país.

7. CONCLUSIONES

Se pudo confirmar la presencia de varias poblaciones de las especies *Latrodectus geometricus* y *Latrodectus sp.* utilizando las predicciones realizadas por el programa MAXENT.

Se logró identificar la especie *L. geometricus* utilizando caracteres morfológicos y, mediante los análisis filogenéticos realizados, se determinó que la otra especie del género *Latrodectus* en el Ecuador sea posiblemente una nueva especie que no ha sido descrita. Por lo que sería interesante en trabajos futuros, utilizando los resultados de la distribución potencial realizar un trabajo de campo en los lugares que no han sido muestreados, para así obtener más datos de presencia y muestras recolectadas de las poblaciones.

Esto permitiría realizar un análisis genético más profundo de las poblaciones de la especie *Latrodectus sp.* en el Ecuador que servirían para la descripción de la especie y para comparar las relaciones genéticas con poblaciones de *Latrodectus* en Sudamérica.

En los muestreos de campo se pudo comprobar que las poblaciones de *Latrodectus sp.* y *L. geometricus* son especies afines a las áreas disturbadas y están cerca de asentamientos humanos por lo que es necesario conocer la ubicación de las poblaciones sobre todo de la especie *Latrodectus sp.* la cual tiene una mordida de importancia médica, razón por la cual en este estudio se incluye una lista de los centros de salud y hospitales que deberían tomar medidas para tratar casos de mordida de esta araña.

7. LITERATURA CITADA

Adamo, S.A., Lovett, M.M.E. 2011. Some like it hot: the effects of climate change on reproduction, immune function and disease resistance in the cricket *Gryllus texensis*. The Journal of Experimental Biology 214.

Aguilera, M.A., D'Elía, G., Casanueva, M.E. 2009. Revalidation of *Latrodectus thoracicus* Nicolet, 1849 (Araneae: Theridiidae): Biological and phylogenetic antecedents. Gayana 73(2): 161–171.

Almeida, R., Ferreira R., Chaves, C., Barraviera, B. 2009. Envenomation caused by *Latrodectus geometricus* in São Paulo State, Brazil: A case report. Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases 15: 562-571.

Altschul, S.F., Madden, T.L., Schaffer, A. A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., Lipman, D. J. 1997. "Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs". Nucleic Acids Research 25: 3389-3402.

Anderson, R.P., Raza, A. 2010. The effect of the extent of the study region on GIS models of species geographic distributions and estimates of niche evolution: preliminary tests with montane rodents (genus *Nephelomys*) in Venezuela. Journal of Biogeography 37: 1378–1393.

Araújo, M.B., Pearson, R.G. 2005. Equilibrium of species' distributions with climate. Ecography 28: 693–695.

Baerg, W.J. 1923. The effects of the bite of *Latrodectus mactans* Fabr. Journal of Parasitology 9: 161–169.

Baquero, F., Sierra, R., Ordóñez, L., Tipán, M., Espinosa, L., Rivera, M.B., Soria, P. 2004. La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación: potencial y remanente a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras. EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAGRO/CDC - Jatun Sacha/ División Geográfica - IGM. Quito, Ecuador.

Bárcena, A., Prado, A. Beteta, H.E. Samaniego, J., Galindo, L. M., Lennox, J. 2011. La economía del cambio climático en Centroamérica: Reporte técnico 2011. Impresión FOC S.A. México.

Barrett, R.D.H., Herbert, P.D.N. 2005. Identifying spiders through DNA barcodes. Canadian Journal of Zoology 83: 481–491.

Benson, D. A., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D. J., Ostell, J., Wheeler, D. L. 2005. GenBank. Nucleic Acids Research 1: 33.

Bond, J.E., Hedin, M.C., Ramirez, M.G., Opell, B.D. 2001. Deep molecular divergence in the absence of morphological and ecological change in the Californian coastal dune endemic trapdoor spider *Aptostichus simus*. Molecular Ecology 10: 899–910.

Bourg, N.A., McShea, W.J., Gill, D.E. 2005. Putting a CART before the search: successful habitat prediction for a rare forest herb. Ecology 86: 2793–2804.

Burt, C.E. 1935. A review of the biology and distribution of the hourglass spider. Journal of the Kansas Entomological Society 8: 117–130.

Clark, R.F. 2001. The Safety and Efficacy of Antivenin *Latrodectus mactans*. Clinical Toxicology 39: 125–127.

Costello, M.J., Daane, K.M. 1998. Influence of ground cover on spider populations in a table grape vineyard. *Ecological Entomology* 23: 33–40.

D'Amour, F.E., Becker, F.E., Riper, W. 1936. The black widow spider. *The Quarterly Review of Biology* 11: 123–160.

Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. Overton J., Peterson, A.T., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S. Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129–151.

Estay, S. A., Lima, M. y Labra, F.A. 2009. Predicting insect pest status under climate change escenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. *Journal of Applied Entomology* 133: 491–499.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits in phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39: 783–791.

Fielding, A.H., Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models. *Environmental Conservation* 24: 38–49.

Gallien, L., Münkemüller, T., Albert, C.H., Boulangeat, I., Thuiller, W. 2010. Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here? *Diversity and Distributions* 16: 331–342.

- Garb, J.E., González, A., Gillespie, R.G. 2004. The black widow spider genus *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) phylogeny, biogeography and invasion history. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 31: 1127–1142.
- Gillespie, R.G., Croom, H.B., Hasty, G.L. 1997. Phylogenetic relationships and adaptive shifts among major clades of *Tetragnatha* spiders (Araneae: Tetragnathidae) in Hawaii. *Pacific Science* 51: 380–394.
- Harington, R., Fleming, R., Woiwod, I. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Meteorology* 3: 233–240.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., deWaard, J.R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270: 313–322.
- Hernandez, P.A., Franke, E.I, Herzog, E.S.K, Pacheco, E.V., Paniagua, E.L., Quintana, E.H.L., Soto, E.A., Swenson, E.J.J., Tovar, E.C., Valqui., E.T.H., Vargas E.J., Young, E.B.E. 2008. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity Conservation* 17: 1353–1366.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
- Hódar, J. A., Sánchez-Piñero, F. 2002. Feeding habits of the blackwidow spider *Latrodectus lilianae* (Araneae: Theridiidae) in an arid zone of south-east Spain. *Journal of Zoology* 257: 101–109.

IPCC. 2001. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (ed. by J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson). Cambridge University Press, Cambridge, UK

Jaramillo, J., Chabi-Olaye, A., Kamonjo, C., Jaramillo, A., Vega, F.E., Poehling, H., Borgemeister C. 2009. Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. Plos One 4: 8.

Jeschke, J.M., Strayer D.L. 2008. Usefulness of Bioclimatic Models for Studying Climate Change and Invasive Species. Annals of the New York Academy of Science 1134: 1–24.

Kaston, B.J. 1970. Comparative biology of American black widow spiders. Transactions of the San Diego Society of Natural History 16: 33–82.

Keegan, H.L. 1955. Spiders of genus *Latrodectus*. American Midland Naturalist 54: 142–152.

Levi, H.W. 1959. The spider genus *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae). Transactions of the American Microscopical Society 78: 7–43.

Levi, H.W. 1967. Cosmopolitan and pantropical species of theridiid spiders (Araneae: Theridiidae). Pacific Insects 9: 175–186.

Levi, H.W., McCrone, J.D. 1964. North American widow spiders of the *Latrodectus curacaviensis* group (Araneae, Theridiidae). Psyche 71: 12–27.

Levy, G., Amitai, P. 1983. Revision of the Widow-spider genus *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) in Israel. Zoological Journal of the Linnean Society 71: 39–63.

Liger, M.B. 2010. Elaboración de Mapas predictivos de riesgo de infestación de tres especies de polillas de la papa (Lepidoptera: Gelechiidae). Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P., Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography* 28: 385–393.

Madden, T. 2002. The BLAST Sequence Analysis Tool. [Updated 2003 Aug 13]. In: McEntyre J, Ostell J, editors. The NCBI Handbook. Bethesda (MD): National Center for Biotechnology Information (US); 2002-. Chapter 16. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21097/>

Maddison, W.P., D.R. Maddison. 2009. Mesquite: a modular system for evolutionary analysis. Version 2.71 <http://mesquiteproject.org>.

Maillaud, C., Hervé, J., Winkel, K., Arnaud, G., Lafforgue, P., Durand, F. 2009. Latrodectism in New Caledonia: First Report of Presumed Redback Spider (*Latrodectus hasselti*). *Envenomation Wilderness and Environmental Medicine* 20: 339–343.

McCrone, J.D., Levi, H.W. 1964. Postembryological development of spiderlings from two Peruvian *Latrodectus* populations. *Psyche* 73: 180–186.

Merrill, R., Gutiérrez, D., Lewis, O., Gutiérrez, J., Diez, S. y Wilson, R. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal Animal Ecology* 77: 145–155.

Muller, G.J. 1993. Black and brown widow spider bites in South Africa – a series of 45 cases. *South African Medical Journal* 83: 399–405.

- Navarrete, G. P., Ormeño, D., Miranda, A., Sánchez, G. R., Romero, M. F., Parodi, R. J. 2011. Molecular characterization, electrophysiological and contraceptive effect of Chilean *Latrodectus* venom. *International Journal of Morphology* 29: 733–741.
- Offerman, S.R., Daubert, G.P., Clark, R.F. 2011. The Treatment of Black Widow Spider Envenomation with Antivenin *Latrodectus Mactans*: A Case Series. *The Permanente Journal* 15: 76–81.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M., Peterson T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34: 102–117.
- Peterson, A.T. 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modelling. *Quarterly Review of Biology* 78: 419–433.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231–259.
- Pinter, L.J. 1967. Species of widow spiders in northern Argentina (*Latrodectus*: Theridiidae). *Psyche* 74: 290–298.
- Platnick, N.I. 2012. The World Spider Catalog, Version 11.0. American Museum of Natural History. Available from <http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/INTRO1.htm> (access 28 July 2012)
- Posada, D. 2008. jModelTest: Phylogenetic Model Averaging. *Molecular Biology and Evolution* 25: 1253–1256.

- Ratnasingham, S., Hebert, P.D.N. 2007. BOLD: The Barcode of Life Data System (www.barcodinglife.org). *Molecular Ecology Notes* 7: 355–364.
- Robinson, E.A., Blagoev, G.A., Herbert, P.D.N., Adamowicz, S.J. 2009. Prospects for using DNA barcoding to identify spiders in species-rich genera. *ZooKeys* 16: 27–46.
- Romero, F.M., Altieri, E.M., Urrutia, M.A.Jara, J.H. 2003. Veneno de *Latrodectus mactans* de Chile (Araneae, Theridiidae): su efecto sobre músculo liso. *Revista de Biología Tropical* 51: 305–312
- Rowan, D.H., Herbert, B.D.N., Herbert, P.D.N. 2005. Identifying spiders through DNA barcodes. *Canada Journal of Zoology* 83: 481–491
- Shukla, S., Broome, V. 2007. First report of the brown widow spider, *Latrodectus geometricus* C. L. Koch (Araneae: Theridiidae) from India. *Current Science* 93: 775–777.
- Smithers, R. 1944. Contributions to our knowledge of the genus *Latrodectus* in South Africa. *Annals of the South African Museum* 36: 263–312.
- Soberón, J., Peterson, A. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1–10.
- Steel, M. 2010. The Phylogenetic Handbook: A Practical Approach to Phylogenetic Analysis and Hypothesis Testing edited by LEMEY, P., SALEMI, M., and VANDAMME, A.-M. *Biometrics*. 66: 324–325.
- Thuiller, W., Richardson, D.M., Pysek, P., Midgley, G.F., Hughes, G.O., Rouget, M. 2005. Niche-based modeling as a tool for predicting the global risk of alien plant invasions at a global scale. *Global Change Biology* 11: 2234–2250.

Vega, M. 2010. Checklist of Spiders of Ecuador. Museo de Zoología de Invertebrados QCAZ. Available from <http://www.biologia.puce.edu.ec/cafe.php?c=906> (access 28 July 2011)

Vetter, R.S., Vincent, L.S., Itnyre, A.A., Clarke, D.E., Reinker, K.I., Danielsen, D.W.R., Robinson, L.J., Kabashima, J.N., Rust, M.K. 2012. Predators and parasitoids of egg sacs of the widow spiders, *Latrodectus geometricus* and *Latrodectus hesperus* (Araneae: Theridiidae) in southern California. *The Journal of Arachnology* 40: 209–214.

Vincent, L., Vetter, R., Wrenn, W., Kempf, J. & Berrian, J. 2008. The brown widow spider *Latrodectus geometricus* C. L. Koch, 1841, in southern California. *Pan-Pacific Entomologist* 84: 344–349.

Vink, J.C., Derraik, J.G.B., Phillips, C.B., Sirvid, P.J. 2010. The invasive Australian redback spider, *Latrodectus hasseltii* Thorell 1870 (Araneae: Theridiidae): current and potential distributions, and likely impacts. *Biological Invasions* 13: 1003–1019.

Walther, B.A., Wisz, M.S., Rahbek, C. 2004. Known and predicted African winter distributions of habitat use of the endangered Basra reed warbler (*Acrocephalus griseldis*) and the near-threatened cinereous bunting (Emberizacineracea). *Journals of Ornithology* 145: 287–299.

Ward, D. 2007. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. *Biology Invasion* 9: 723–735.

Zunino, M., Zullini, A. 2003. Biogeografía: la dimensión espacial de la evaluación. Fondo De Cultura Económica, México.

Zwickl, D. J. 2006. Genetic algorithm approaches for the phylogenetic analysis of large biological sequence datasets under the maximum likelihood criterion. Ph.D. dissertation. The University of Texas at Austin.

8. FIGURAS

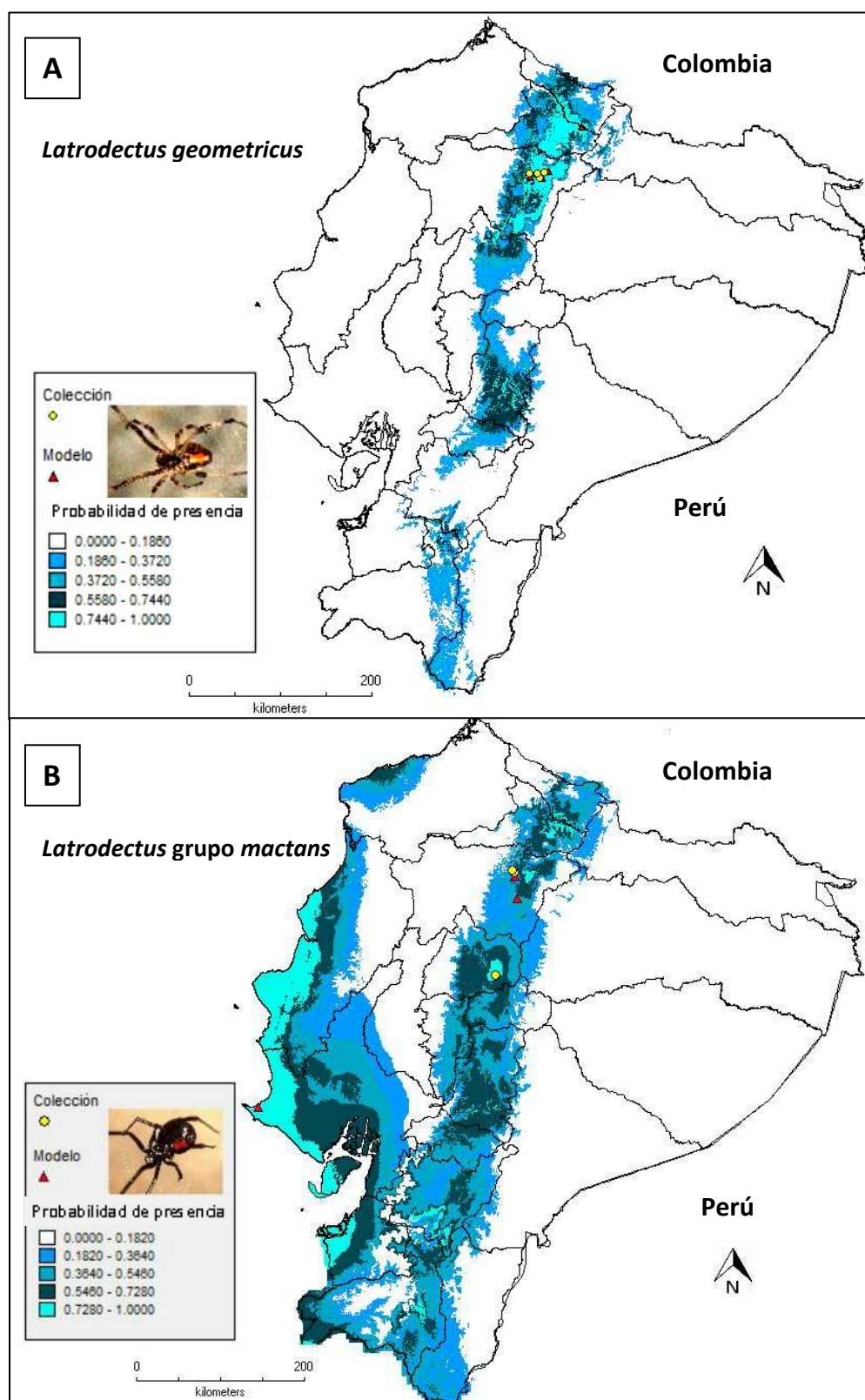


Figura 1. Mapas del primer modelamiento de la especies **A.** *L. geometricus*. **B.** *L. grupo mactans*. Se muestra los puntos utilizados para generar el modelo (triángulos) y los puntos donde se realizó colecciones en los muestreos de campo (círculos). Escala de probabilidades, color blanco: 0; turquesa: 1.

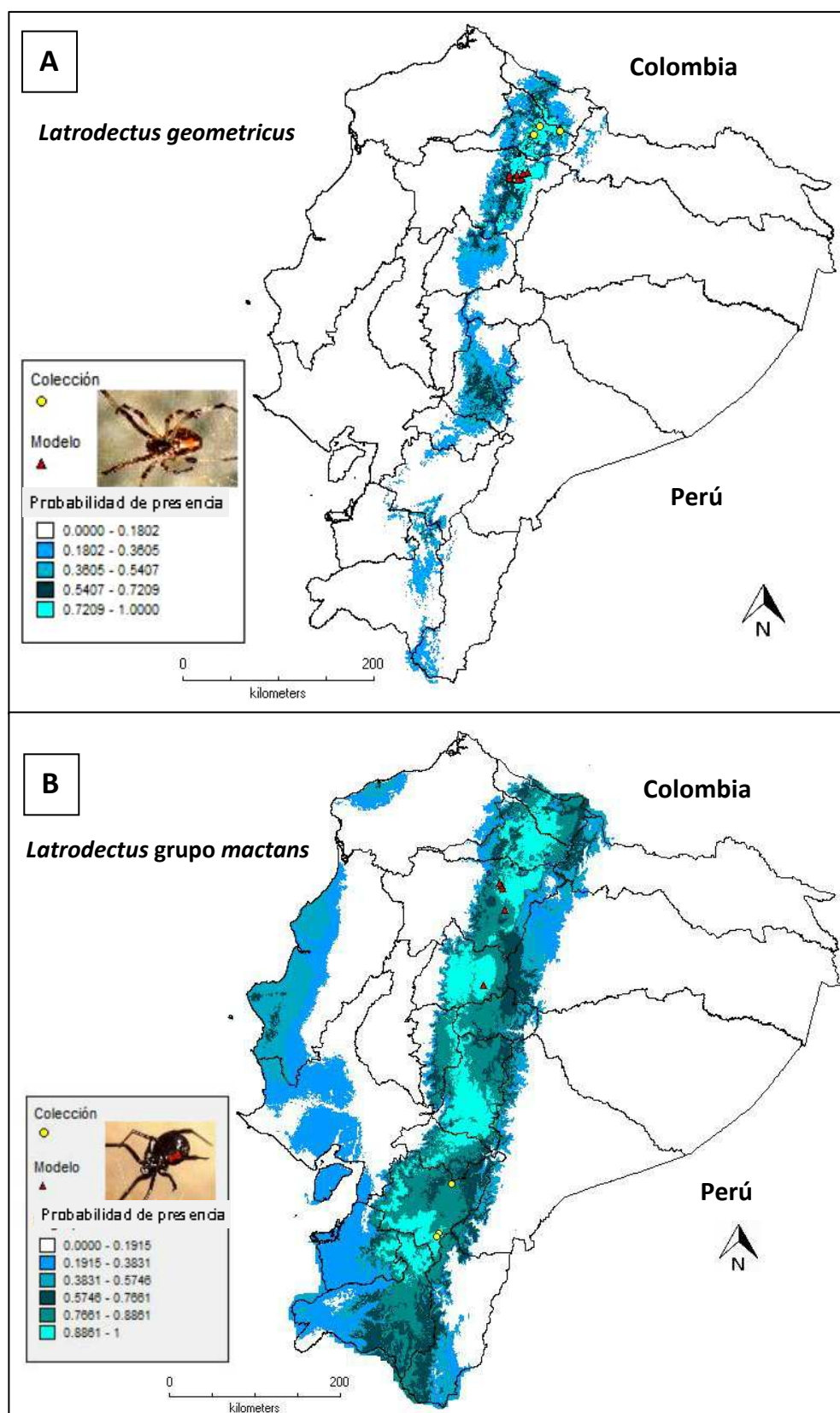


Figura 2. Mapas del segundo modelamiento; **A.** *L. geometricus*. **B.** *L. grupo mactans*. Se muestra los puntos utilizados para generar el modelo (triángulos) y los puntos donde se realizó colecciones en los muestreos de campo (círculos). Escala de probabilidades, blanco: 0; turquesa: 1.

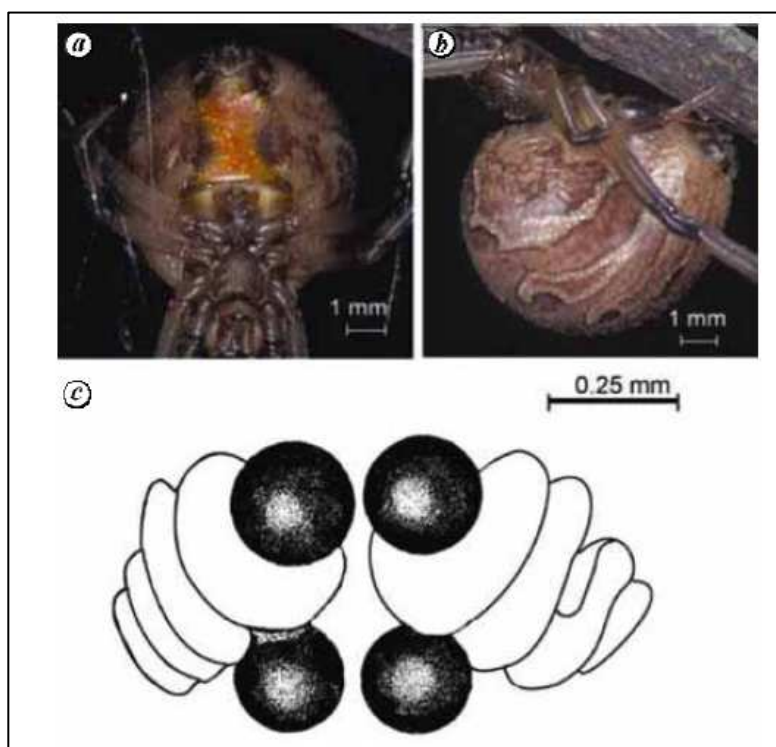


Figura 3. Caracteres para la identificación de *L. geometricus*. **a**, vista ventral del abdomen mostrando la marca en forma de reloj de arena. **b**, vista lateral. **c**, esquema vista dorsal de la espermateca (Shukla y Broome, 2007).

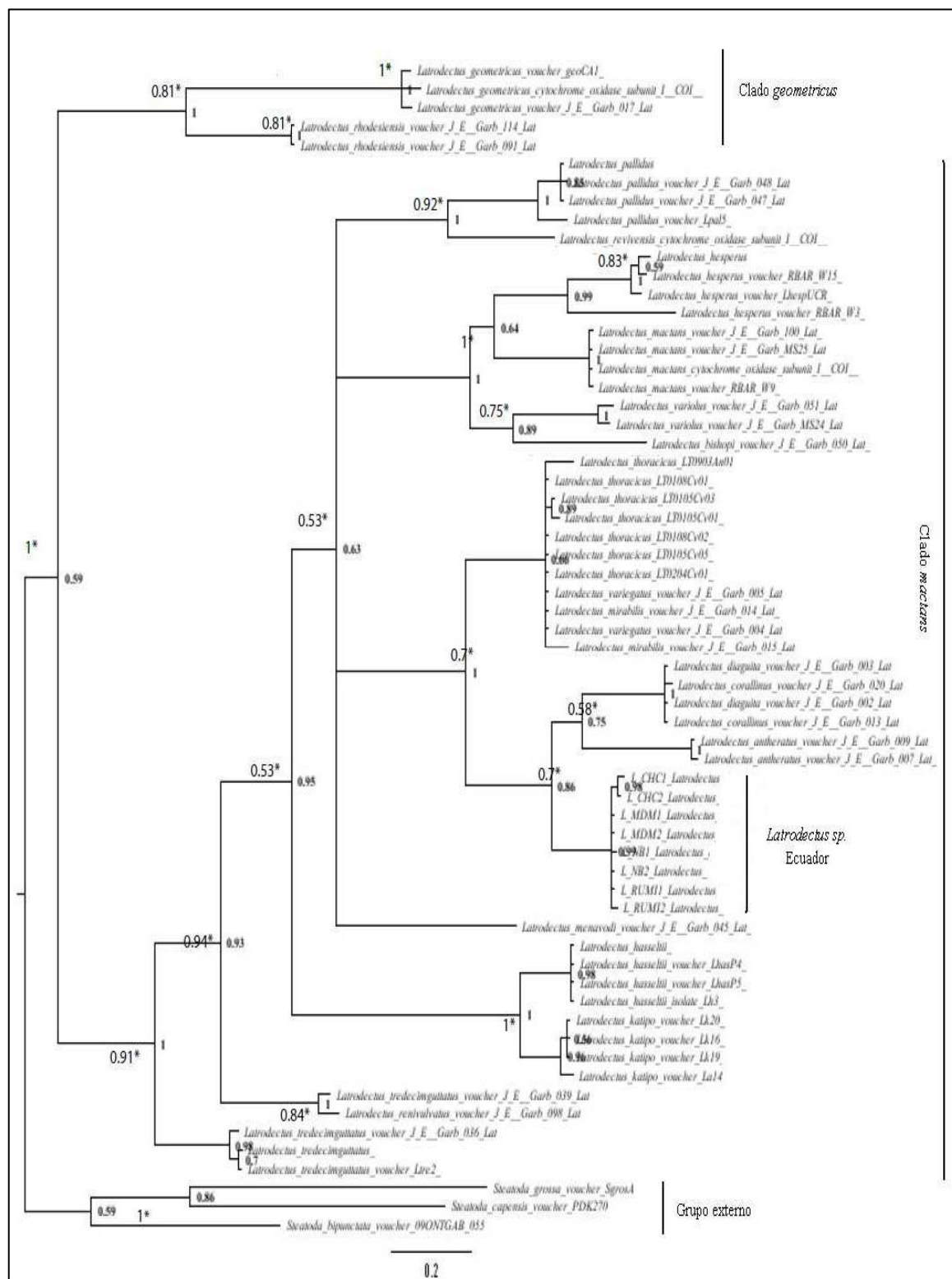


Figura 4. Filograma resultante del análisis de Máxima Verosimilitud del fragmento del gen COI en el género *Latrodectus*. Los valores bootstrap se muestran con un asterisco.



Figura 5. Fotos *Latrodectus* sp. Ecuador.

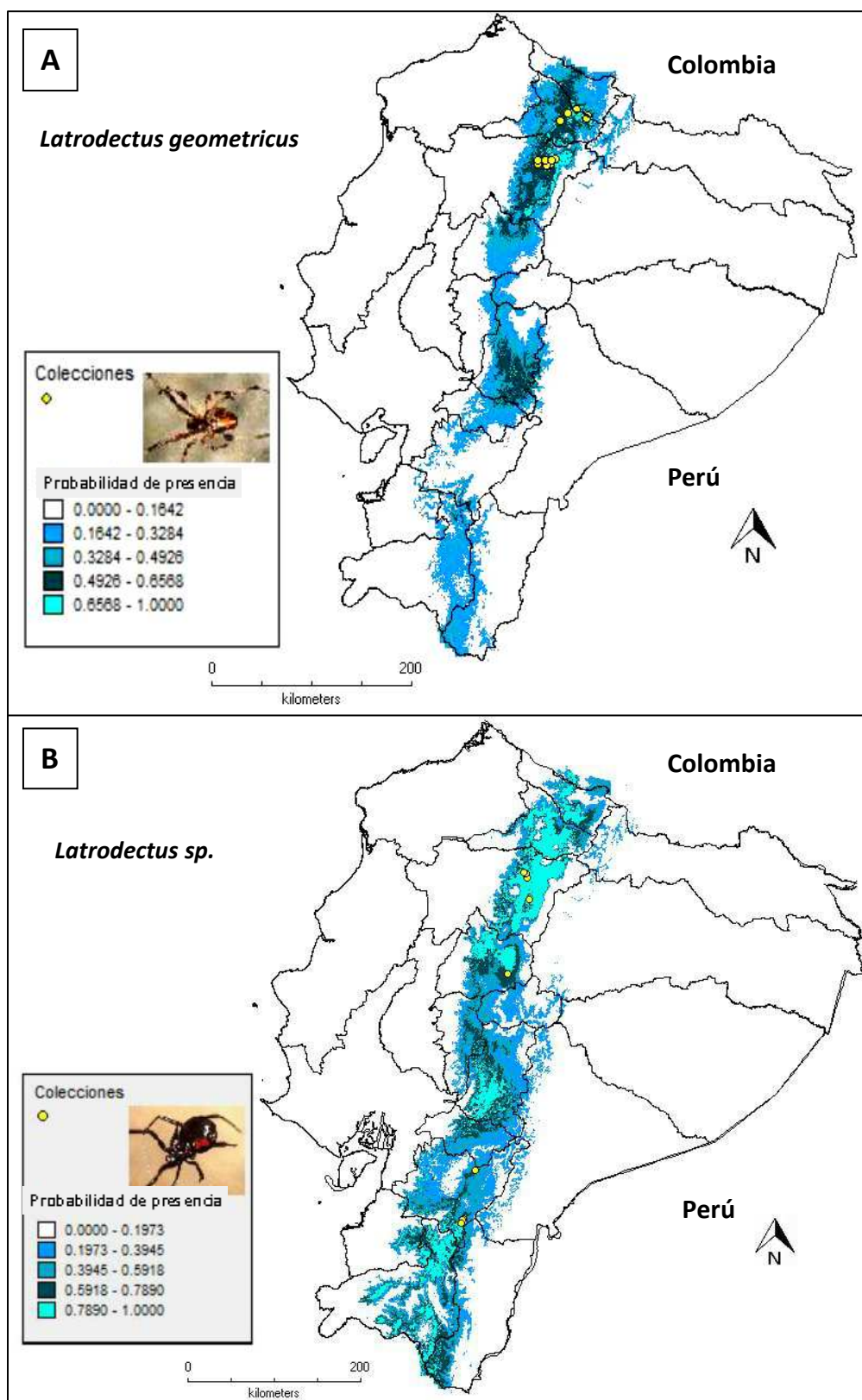


Figura 6. Mapas finales de la distribución de las especies *L. geometricus* (b) y *Latrodectus* (a), se muestra la ubicación de todas las poblaciones encontradas en los muestreos de campo (círculos) y las zonas donde potencialmente se podrían encontrar otras poblaciones de (turquesa y verde oscuro). Las zonas de color verde oscuro y turquesa son las que tienen una mayor probabilidad de presencia de las especies por lo que estas áreas representan los lugares donde potencialmente podrían existir o establecerse poblaciones de estas arañas.

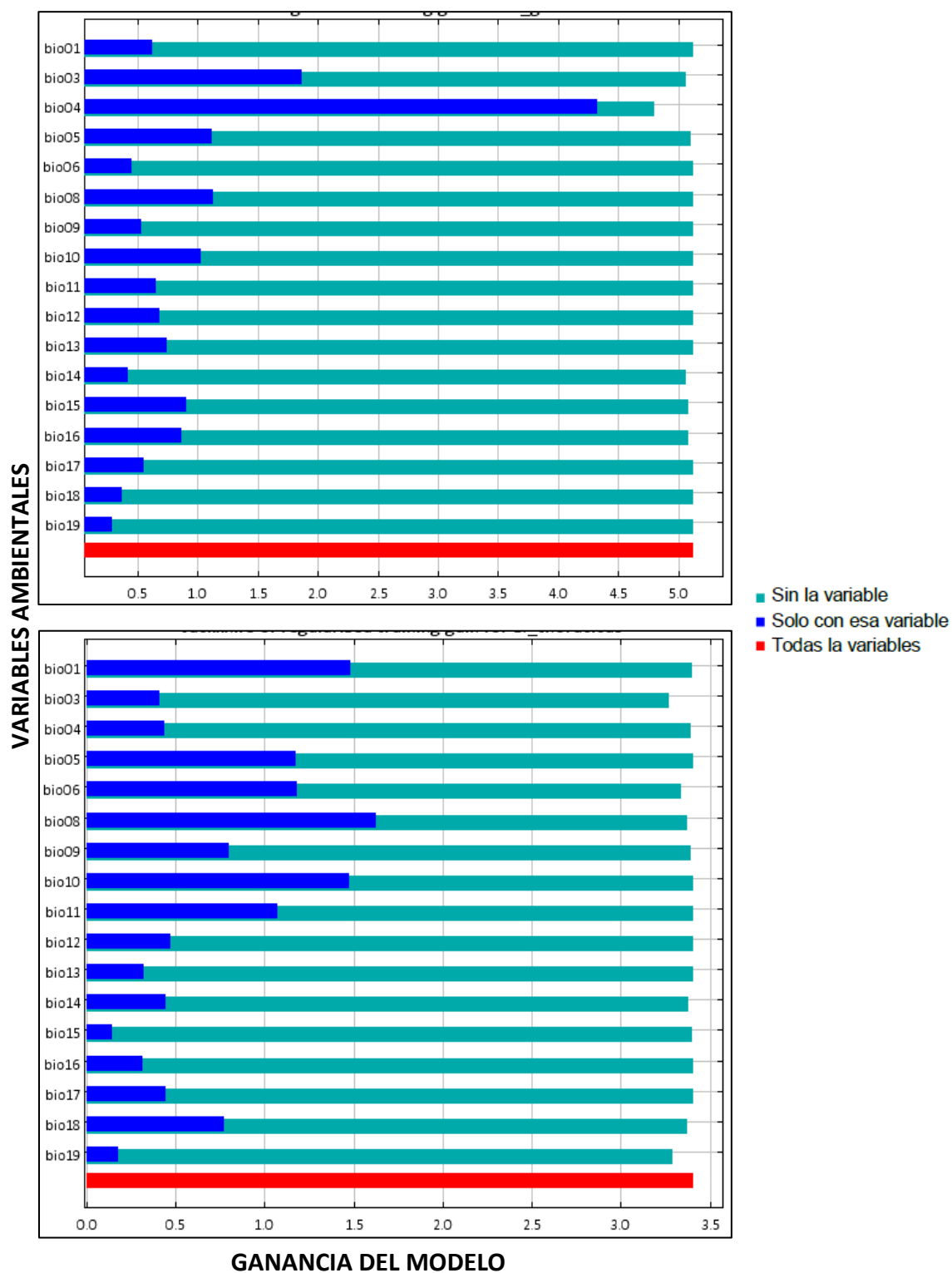


Figura 7. Resultado de la prueba Jackknife, prueba de importancia de las variables ambientales. Barras verdes: Ganancia del modelo sin la variable; barras azules: ganancia del modelo solo con esa variable; barra roja: ganancia con todas las variables.

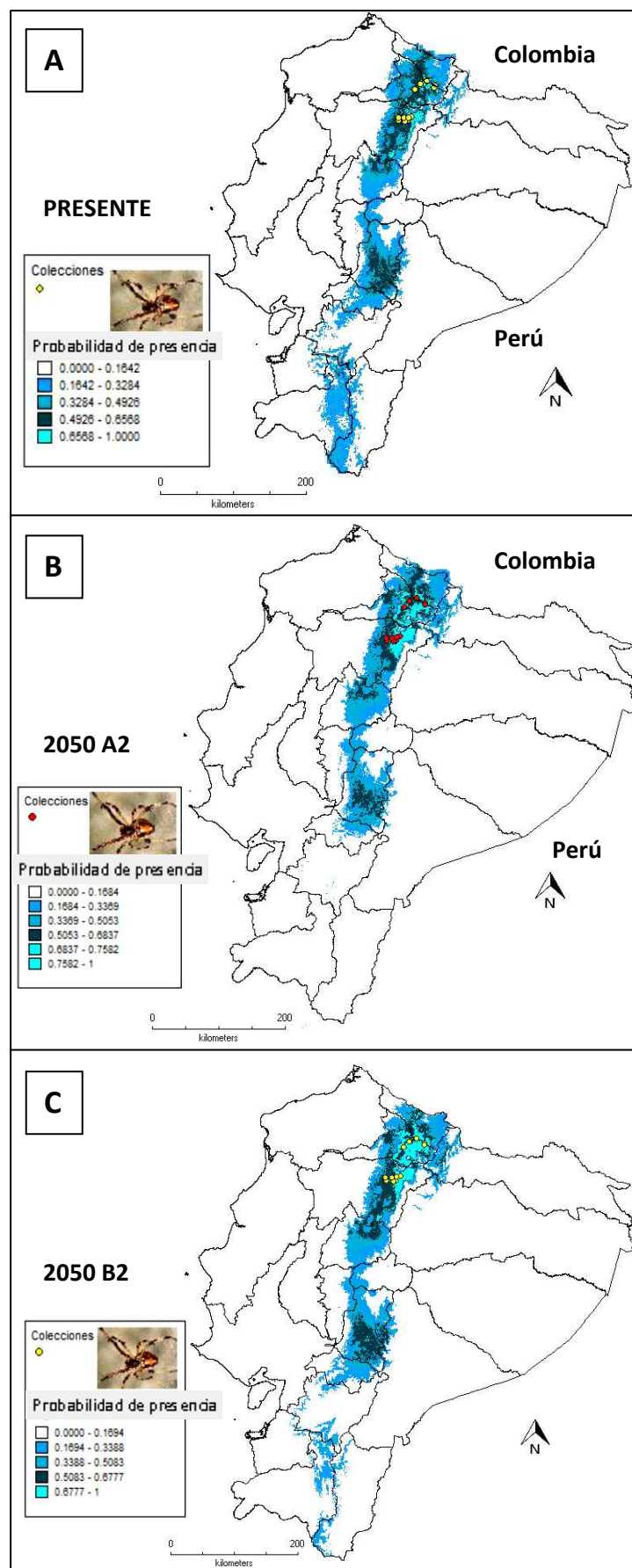


Figura 8. *L. geometricus* (a) mapa de distribución actual, modelamiento 2050 (b) escenario A2, (c) escenario B2. Escala de probabilidades, blanco: 0; turquesa: 1

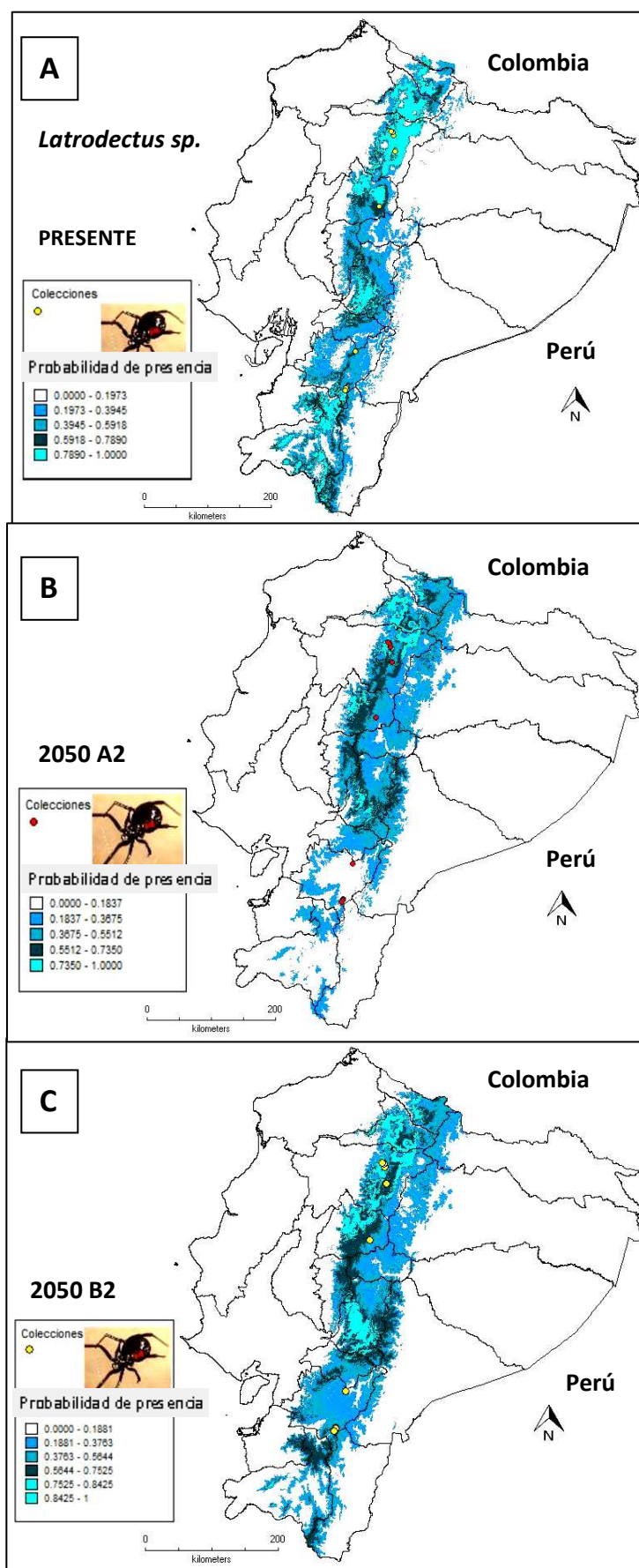


Figura 9: *Latrodectus sp.* (a) mapa de distribución actual, modelamiento 2050 (b) escenario A2, (c) escenario B2. Escala de probabilidades, blanco: 0; turquesa: 1.



Figura 10. Fotos del hábitat de las dos especies del género *Latrodectus* y su cercanía a zonas pobladas

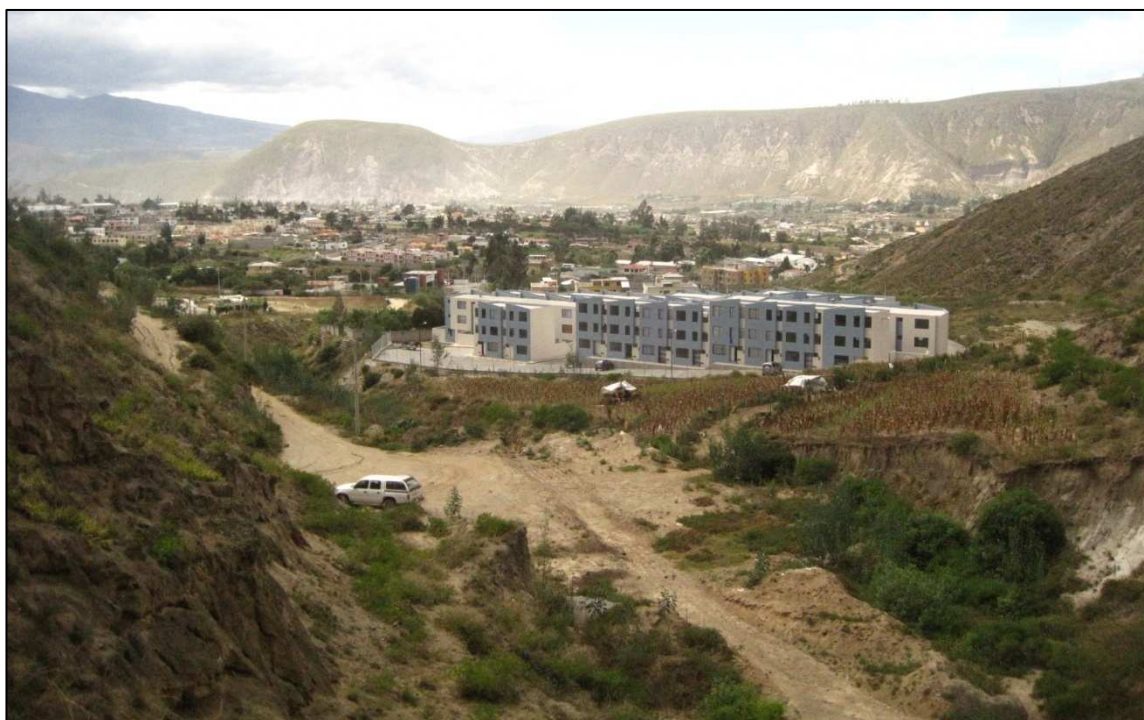


Figura 10, continuación.



Figura 11. Fotos de los lugares característicos donde las arañas construyen sus nidos.



Figura 11, continuación.

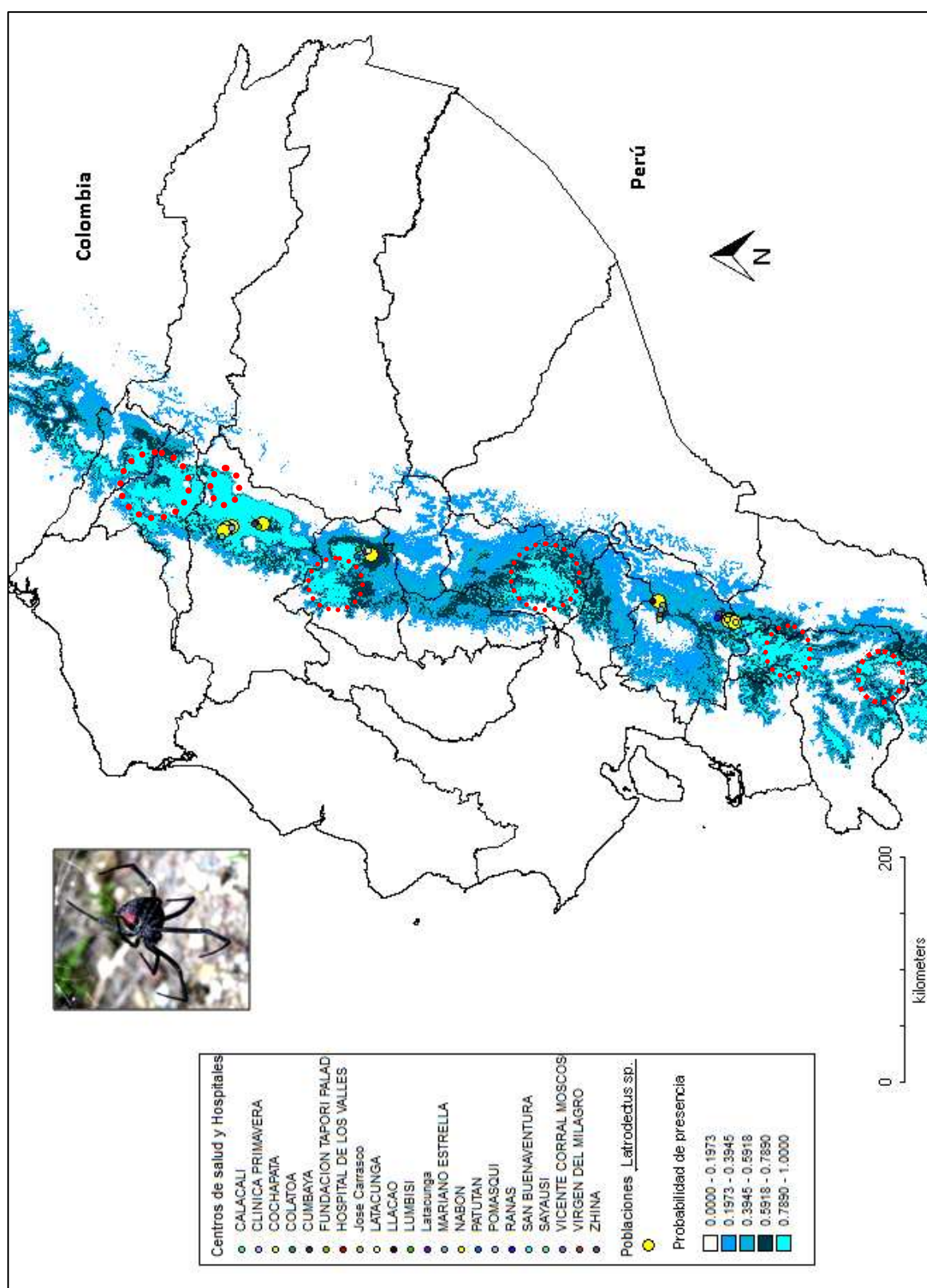


Figura 12. Mapa que muestra la ubicación de las poblaciones conocidas de *Latrodectus* sp. y la escala de probabilidades que va de cero (blanco) a uno (turquesa). junto con los nombres y la ubicación de los diferentes centros de salud y hospitales que se encuentran cercanos a estas poblaciones, los que deberían contar con la información y medicinas necesarias para tratar casos de latrodectismo.

9. TABLAS

Tabla 1. Localidades obtenidas de la revisión bibliográfica y de museos

Especie	Museo/Cita	País	Localidad
<i>Latrodectus geometricus</i>	QCAZ	Ecuador	Guayllabamaba
	QCAZ	Ecuador	Guayllabamaba
	QCAZ	Ecuador	Pomasqui
	QCAZ	Ecuador	El Juncal
	MECN	Ecuador	Mitad del mundo
	MECN	Ecuador	Mitad del mundo
	MECN	Ecuador	Jerusalem
	U. del Valle	Colombia	Cali
	U. del Valle	Colombia	Bolo
	U. del Valle	Colombia	Yumbo
	ICNUN	Colombia	Tolima
<i>Latrodectus grupo mactans</i>	QCAZ	Ecuador	Cumbaya
	UNMSM	Peru	Rio Rimac
	UNMSM	Perú	Pantanos de Villa
	ICNUN	Colombia	Usiacuri
	Levi , 1959	Ecuador	Santa Elena
	P. Macas (foto)	Ecuador	Pomasqui
<i>Latrodectus thoracicus</i> *	Chile	Chile	Andacollo
	Chile	Chile	San Clemente

*L. thoracicus**: Fue incluida en los análisis junto con *L. grupo mactans*

Tabla 2. Localidades obtenidas en primer muestreo

Especie	Provincia	Localidad	Coordenadas	
			Long	Lat
<i>Latrodectus geometricus</i>	Pichincha	Mitad del Mundo	-78,46023	- 0,01198
	Pichincha	Guayllabamba	-78,36508	-0,0629
	Pichincha	Jerusalem	-78,38225	-0,01097
	Pichincha	Tanda	-78,32084	-0,00594
<i>Latrodectus grupo mactans</i>	Cotopaxi	Chan Chico	-78.63448	-0.9764
	Pichincha	Mitad del Mundo	-78.46023	- 0.01198
	Pichincha	Rumicucho	-78.48022	0.00373

Tabla 3. Localidades obtenidas en el segundo muestreo

Especie	Provincia	Localidad	Coordenadas	
			Long	Lat
<i>Latrodectus geometricus</i>	Imbabura	Urququi	-78.2207	0.38069
	Imbabura	Via antigua al Chota	-78.1518	0.45861
	Carchi	Via R. Cayambe Coca	-77.9542	0.41473
<i>Latrodectus grupo mactans</i>	Azuay	Ucubamba	-78.94336-2.87139	
	Azuay	Nabon	-79.0687	-3.34302
	Azuay	Cochapata	-79.08344	-3.37454

Tabla 4: Secuencias disponibles en Genbank del gen COI de todas las especies del género *Latrodectus* y las tres secuencias de especímenes del género *Steatoda* que sirvieron como grupo externo.

Especie	Voucher	#Pares de bases	Accesión
<i>Latrodectus tredecimguttatus</i>	Ltre4	616	KC414085.1
<i>Latrodectus pallidus</i>	Lpal4	636	KC414083.1
<i>Latrodectus hesperus</i>	Lhesmar1	573	KC414081.1
<i>Latrodectus hesperus</i>	LhasP2	649	KC414079.1
<i>Latrodectus hasseltii</i>	LhasP4	655	KC414077.1
<i>Latrodectus hasseltii</i>	Ltre2	634	KC414084.1
<i>Latrodectus tredecimguttatus</i>	Lpal5	659	KC414082.1
<i>Latrodectus pallidus</i>	LhespUCR	656	KC414080.1
<i>Latrodectus hesperus</i>	LhasP5	655	KC414078.1
<i>Latrodectus hasseltii</i>	geoCA1	656	KC414076.1
<i>Latrodectus geometricus</i>	LT0903An01	646	GU112105.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0108Cv01	646	GU112103.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0105Cv03	646	GU112101.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0105Cv01	646	GU112099.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0108Cv02	646	GU112104.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0105Cv05	646	GU112102.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	LT0204Cv01	646	GU112098.1
<i>Latrodectus thoracicus</i>	RBAR-W15	580	DQ127324.1
<i>Latrodectus hesperus</i>	RBAR-W3	608	DQ127315.1
<i>Latrodectus geometricus</i>	geoCOI	1,261	FJ607567.1
<i>Latrodectus katipo</i>	Lk20	1,227	EU305455.1
<i>Latrodectus katipo</i>	Lk16	1,239	EU305451.1
<i>Latrodectus katipo</i>	La14	1,239	EU305449.1
<i>Latrodectus katipo</i>	Lk19	1,239	EU305454.1
<i>Latrodectus hasseltii</i>	Lh3	1,026	EF121033.1

<i>Latrodectus variegatus</i>	J.E. Garb 005-Lat	428	AY383084.1
<i>Latrodectus variolus</i>	J.E. Garb 051-Lat	428	AY383082.1
<i>Latrodectus tredecimguttatus</i>	J.E. Garb 039-Lat	428	AY383080.1
<i>Latrodectus revivensis</i>	COI	428	AY383078.1
<i>Latrodectus mirabilis</i>	J.E. Garb 014-Lat	428	AY383076.1
<i>Latrodectus mactans</i>	J.E. Garb 100-Lat	428	AY383072.1
<i>Latrodectus diaguia</i>	J.E. Garb 003-Lat	403	AY383064.1
<i>Latrodectus geometricus</i>	J.E. Garb 017	412	AY383066.1
<i>Latrodectus corallinus</i>	J.E. Garb 020-Lat	428	AY383062.1
<i>Latrodectus bishopi</i>	J.E. Garb 050-Lat	428	AY383060.1
<i>Latrodectus rhodesiensis</i>	J.E. Garb 114-Lat	412	AY383058.1
<i>Latrodectus pallidus</i>	J.E. Garb 048-Lat	428	AY383056.1
<i>Latrodectus mactans</i>	J.E. Garb MS25-Lat	428	AY383054.1
<i>Latrodectus antheratus</i>	J.E. Garb 009-Lat	428	AY383048.1
<i>Latrodectus variegatus</i>	J.E. Garb 004-Lat	428	AY383083.1
<i>Latrodectus rhodesiensis</i>	J.E. Garb 091-Lat	428	AY383079.1
<i>Latrodectus mirabilis</i>	J.E. Garb 015-Lat	428	AY383077.1
<i>Latrodectus tredecimguttatus</i>	J.E. Garb 036-Lat	428	AY383081.1
<i>Latrodectus menavodi</i>	J.E. Garb 045-Lat	428	AY383075.1
<i>Latrodectus diaguia</i>	J.E. Garb 002-Lat	428	AY383063.1
<i>Latrodectus corallinus</i>	J.E. Garb 013-Lat	428	AY383061.1
<i>Latrodectus variolus</i>	J.E. Garb MS24-Lat	428	AY383059.1
<i>Latrodectus renivulvatus</i>	J.E. Garb 098-Lat	416	AY383057.1
<i>Latrodectus pallidus</i>	J.E. Garb 047-Lat	428	AY383055.1
<i>Latrodectus antheratus</i>	J.E. Garb 007-Lat	428	AY383047.1
<i>Latrodectus mactans</i>	COI	472	AY231046.1
<i>Latrodectus mactans</i>	RBAR-W9	573	DQ127318.1
<i>Steatoda grossa</i>	SgrosA	643	KC414088.1
<i>Steatoda capensis</i>	PDK270	656	KC414086.1
<i>Steatoda bipunctata</i>	Bioug<can>:09ontgab-055	658	GU682467.1

Tabla 5: Modelo de evolución seleccionado con el programa JModelTest para los análisis filogenéticos

Gen	Modelo	Gamma	p-inv	Frecuencias			
				A	T	C	G
COI	HKY+I+G	1.105	0.57	0.2961	0.4686	0.0728	0.1625

Tabla 6. Localidades *L. thoracicus* en Chile

Especie	Localidad	Coordenadas	
		Long	Lat
<i>Latrodectus thoracicus</i>	Alto BioBio	-71.639382	-37.880798
	Atacama	-70.651296	-28.671127
	La Serena	-71.243005	-29.893787
	Coquimbo	-71.371912	-30.069001
	Linares	-71.574607	-35.861248
	Araucania	-72.670243	-37.814874
	Temuco	-72.469257	-38.867864
	Choapa	-71.508018	-32.222277
	Andacollo	-70.665665	-30.417888
	San Clemente	-71.48798	-35.461011

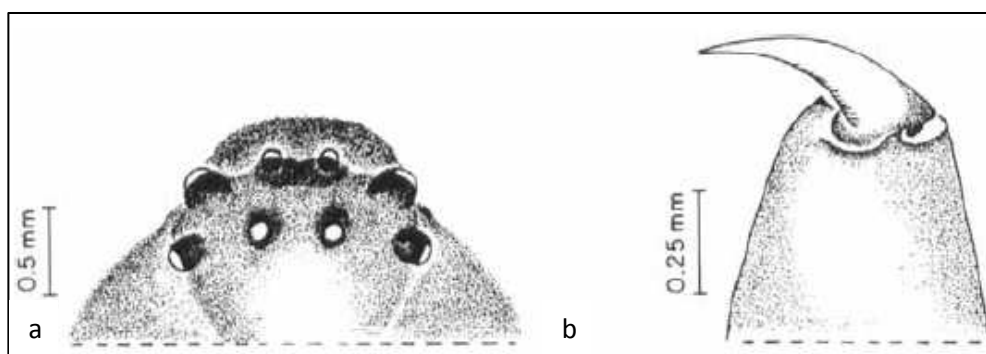
Fuente: Aguilera *et al.*, 2009

Tabla 7: Porcentaje de contribución de las variables al modelo Maxent, para las dos especies de arañas.

Variables Ambientales	Porcentaje de contribución	
	<i>L. geometricus</i>	<i>L. thoracicus</i>
1 Temperatura media anual	0.0	1.0
3 Isotermalidad	0.7	4.7
4 Estacionalidad de la temperatura	88.8	6.0
5 Máxima temperatura del mes más cálido	0.2	0.0
6 Mínima temperatura del mes más frío	0.0	7.5
8 Temperatura media del trimestre más húmedo	0.0	49.4
9 Temperatura media del trimestre más seco	0.0	0.8
10 Temperatura media del trimestre más cálido	0.0	0.0
11 Temperatura media del trimestre mas frío	0.0	0.0
12 Precipitación anual	0.0	0.0
13 Precipitación del mes más húmedo	0.0	0.0
14 Precipitación del mes más seco	1.2	1.1
15 Estacionalidad de la precipitación	0.6	10.1
16 Precipitación del trimestre más húmedo	8.5	0.0
17 Precipitación del trimestre más seco	0.0	0.0
18 Precipitación del trimestre más cálido	0.0	8.9
19 Precipitación del trimestre mas frío	0.0	10.4

10. ANEXOS

Anexo 1. Género *Latrodectus*, (a) vista dorsal del caparazón, con el clipeo igual en altura que la zona ocular, y los ojos laterales bien separados (b) quelíceros sin dientes (Tomado de: Levy y Amitai, 1983).



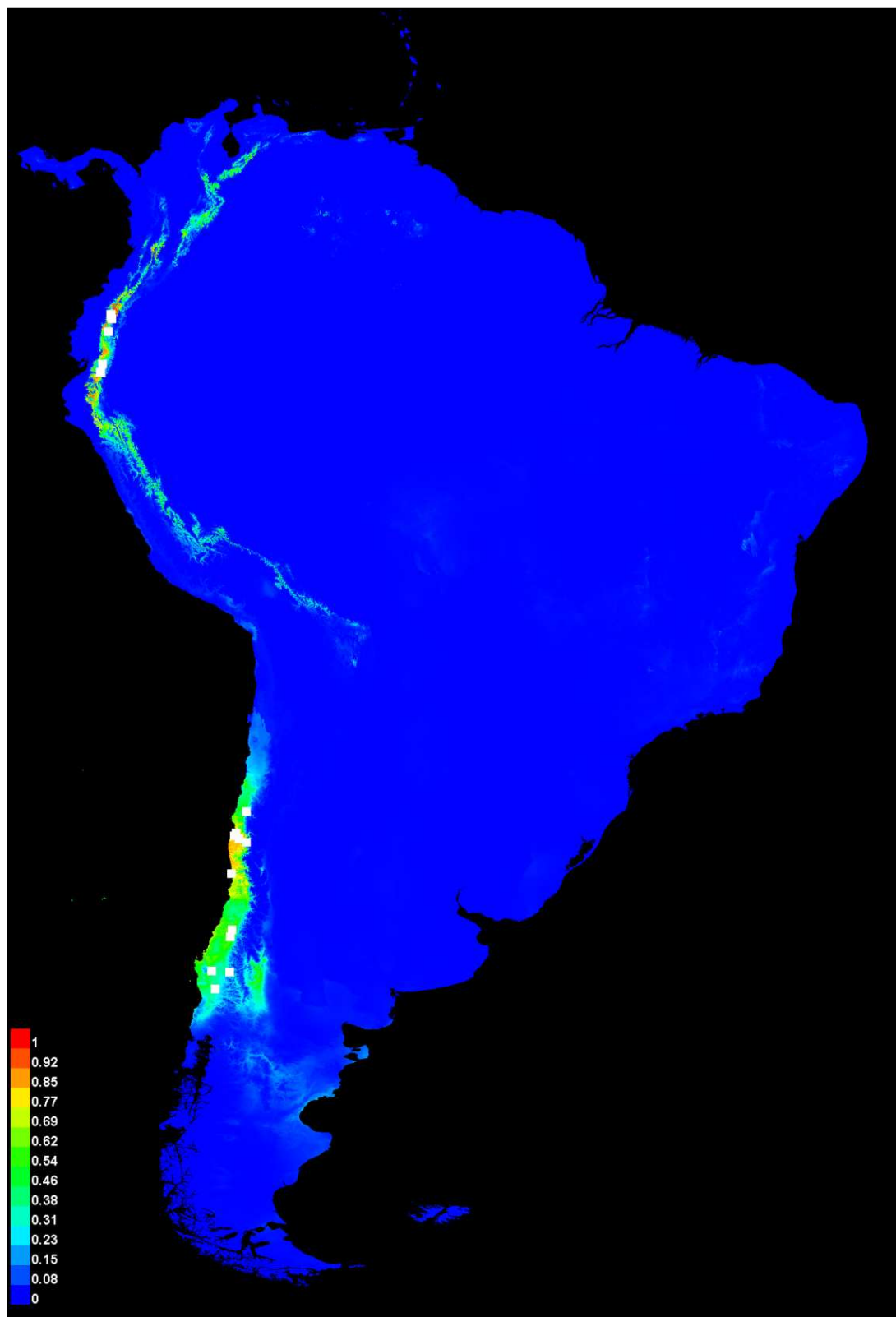
Anexo 2. Lista de centros de salud y hospitales de la figura 11.

NOMBRE	PARROQUIA	TIPO	y	x
F.Tapori Paladines	Pomasqui	Privado	-0.05149	-78.45239
Pomasqui	Pomasqui	Subcentro de salud	-0.05458	-78.45617
Calacalí	Calacalí	Subcentro de salud	0.00892	-78.51871
Clínica Primavera	Cumbaya	Privado	-0.21354	-78.43382
Hospital de los Valles	Cumbaya	Privado	-0.20856	-78.42473
Lumbisi	Cumbaya	Subcentro de salud	0.231399	-78.44893
Cumbaya	Cumbaya	Subcentro de salud	-0.2005	-78.42902
Latacunga	Latacunga	Hospital general	-0.93619	-78.61629
Latacunga	Latacunga	Hospital del IESS	-0.94109	-78.61423
Latacunga	Latacunga	Centro de salud	-0.95241	-78.60770
Patutan	Latacunga	Subcentro de	-0.87921	-78.64152

salud				
San buenaventura	Latacunga	Subcentro de salud	-0.89483	-78.61311
Colatoa	Latacunga	Subcentro de salud	-0.89294	-78.59706
Cochapata	Cochapata	Subcentro de salud	-3.38593	-79.0872
Nabón	Nabon	Centro de salud	-3.32835	-79.06803
Zhina	Nabón	Subcentro de salud	-3.27900	-79.02889
Ranas	Nabón	Subcentro de salud	-3.26254	-79.05155
Llacao	LLacao	Subcentro de salud	-2.83914	-78.94331
Vicente Corral Moscoso	Cuenca	Hospital general	-2.91063	-78.99310
José Carrasco	Cuenca	Hospital del IESS	-2.89846	-78.97009
Virgen del Milagro	Cuenca	Subcentro de salud	-2.88629	-79.03814
Sayausi	Cuenca	Subcentro de salud	-2.87909	-79.06638
Mariano Estrella	Cuenca	Hospital especializado	-2.89280	-79.00201

Fuente: Ministerio de Salud Publica del Ecuador

Anexo 3: Modelamiento final de la especie *Latrodectus sp.*, se muestran los puntos de presencia agregados de Chile.



Anexo 4: Capas bioclimáticas utilizadas en los modelos

BIO1	Temperatura promedio anual
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más caliente
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO8	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura promedio del trimestre más seco
BIO10	Temperatura promedio del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura promedio del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Precipitación Estacionalidad (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, Roberto Jacobo Kaslin Ulloa, C.I. 1723476642 autor del trabajo de graduación intitulado: “Distribución actual y potencial de las poblaciones del género *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) en Ecuador”, previa a la obtención del grado de **LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la Facultad de **Ciencias Exactas y Naturales**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador Para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito,.....

Sr.

C.I.